

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Hladicí vyměnitelné břitové destičky a jejich využití
v procesu frézování

Smoothing Inserts And Their Use In Milling Process

Student:

Bc. Jan Rekšák

Vedoucí diplomové práce:

doc.Dr. Ing. Ivan Mrkvica

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Jan Rekšák

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2303T002 Strojírenská technologie

Specializace:

20 Strojírenská technologie

Téma:

Hladicí vyměnitelné břitové destičky a jejich využití v procesu frézování
Smoothing Inserts and Their Use in Milling Process

Zásady pro vypracování:

1. Současný stav techniky v oblasti hladicích VBD pro frézování.
2. Návrh zkušebního nástroje včetně geometrie, konstrukčních prvků a řezných podmínek.
3. Výroba prototypu zkušebního nástroje.
4. Realizace praktických zkoušek frézováním.
5. Vyhodnocení naměřených hodnot a doporučení pro praktické využití.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] FRÉZOVÁNÍ III. Sborník přednášek odborné konference, Brno: VUT Brno, 2003, 178 s. ISBN 80-214-2436-2.
- [2] FRÉZOVÁNÍ IV. Sborník přednášek odborné konference, Brno: VUT Brno, 2007, 205 s. ISBN 80-214-3239-X.
- [3] GÜNTHER, L. Moderne Schneidengeometrien verbessern die Fräsbearbeitung, VDI-Z, 145 (2003), Nr. 5, S. 38-41. ISSN 0931-864X.
- [4] AB. SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - kniha pro praktiky, Přel. M. Kudela, 1. vyd., Praha: Scientia, s.r.o., 1997, 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
- [5] PRAMET TOOLS, S.R.O. Frézování, Šumperk: Pramet Tools, s.r.o., 2003, 173 s.

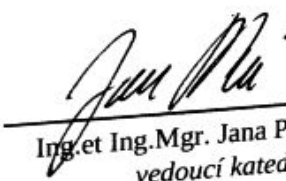
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Ivan Mrkvica**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013




Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu



V Ostravě: 20.5.2013

podpis studenta

PROHLAŠUJI, ŽE

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo;
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci použít (§ 35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce;
- souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO v případě zájmu z její i mé strany uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užit dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užit své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce dle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20.5.2013

Jméno a příjmení autora práce: Jan Rekšák

Adresa trvalého pobytu autora práce: 17.listopadu 1/831, Zábřeh na Moravě



ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

REKŠÁK, J. *Hladicí vyměnitelné břitové destičky a jejich využití procesu frézování: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012, 63 str. Vedoucí práce: doc.Dr. Ing. Ivan Mrkvica

Diplomová práce je zaměřena na porovnání jednotlivých hladících VBD pro čelní frézování. V teoretické části se zabývá rozbořem návrhu pro volbu konstrukčních řešení vhodných typů břitů hladících VBD a utvařečů třísky. Dále pak především stanovením řezných podmínek. V experimentální části je měřena drsnost povrchu a zbytková povrchová napětí vnesená do obrobku vnikajícím nástrojem při čelním frézování.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

REKŠÁK, J. *Smoothing inserts and use the milling process: Master thesis*. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2012, 63 p. Thesis head: doc.Dr. Ing. Ivan Mrkvica

The thesis is focused on comparison of different smoothing inserts for face milling. The theoretical part deals with analysis of the draft to select the appropriate type of design solutions smoothing blade insert and chip formation. Furthermore, the particular setting of cutting conditions. In the experimental part of the measured surface roughness and residual stresses transferred to the workpiece entering via tool in face milling.

Seznam použitých zkratek

D, D_c -průměr frézy....[mm]
HB-tvrdost podle Brinella....[-]
 L_t -měřená délka drsnosti povrchu....[mm]
MBN- zbytková povrchová napětí....[mV]
 R_a , R_t , R_z -parametry drsnosti povrchu....[μm]
 R_e -mez kluzu....[MPa]
 R_m -mez pevnosti....[MPa]
 a_e -radiální hloubka řezu....[mm]
 a_p -hloubka řezu (axiální)....[mm]
 $a_{p \max}$ -maximální hloubka řezu....[mm]
 b_s -délka paralelního zábřitu....[mm]
 f_z -posuv na zub....[mm]
 h_m , h , h_ϕ -tloušťka třísky....[mm]
 k_{vx} , k_{vt} , k_{vHB} -koeficienty ke stanovení řezné rychlosti....[-]
 n -počet otáček....[ot.min⁻¹]
 v_c -řezná rychlost....[m.min⁻¹]
 t -teplota....[°]
 γ_f -úhel čela v rovině boční....[°]
 γ_p -úhel čela v rovině zadní....[°]
 κ_r -úhel nastavení....[°]
 λ_c/λ_s -filtr pro měření drsnosti....[-]

Obsah

Seznam použitých zkratk	6
Cíl diplomové práce	9
Úvod	10
1 Výrobní program Pramet Tools, s.r.o.	12
2 Současný stav techniky v oblasti hladicích VBD pro frézování	14
2.1 VBD XNGX 0906ANSN firmy Pramet Tools, s.r.o.	14
2.2 VBD Seco	15
2.3 VBD Sandvik Coromant	15
3 Návrh zkušebního nástroje včetně geometrie, konstrukčních prvků a řezných podmínek	17
3.1 Volba typu břitu VBD pro frézování	17
3.2 Volba vhodného utvařeče třísky	18
3.1 Řezné podmínky pro frézování	19
3.2 Utvařeč třísky VBD XNGX 0906ANSN	22
3.3 Konstrukční prvky utvařeče třísky VBD XNGX 0906ANSN	23
3.4 Kompletní lisovací nástroj pro výrobu VBD XNGX 0906ANSN	24
3.5 Výroba prototypu zkušebního nástroje VBD XNGX 0906ANSN	26
4 Návrh prováděných zkoušek a metodiky zkoušení	30
4.1 Nástroje a stroje použité při frézování pro experiment	30
4.1.1 Čelní fréza Pramet Tools, s.r.o. typ 63A06R-S45HN09C-C	30
4.1.2 Vertikální obráběcí centrum MAS MCV 1270 Power	33
4.1.3 Ustavovací zařízení BMD 465v	34
4.2 Návrh metodiky zkoušení	35
4.2.1 Zkušební vzorek a jeho specifikace	35
4.3 Zkouška měření drsnosti povrchu	36
4.3.1 Použité přístroje a software pro měření drsnosti povrchu	37
4.3.2 Provedení zkoušky drsnosti povrchu při proměnném posuvu na zub f_z	39
4.3.3 Provedení zkoušky drsnosti povrchu při konstantním posuvu na zub f_z	40
4.4 Zkouška měření vnesených zbytkových povrchových napětí po obrábění	40
4.4.1 Použité přístroje a software pro měření zbytkových povrchových napětí po obrobení	43

4.4.2 Provedení zkoušky pro měření zbytkových povrchových napětí po obrobení.....	43
4.5 Trvanlivost hladících VBD	44
5 Výsledky experimentu	45
5.1 Zkouška měření drsnosti povrchu při proměnném posuvu na zub f_z	45
5.2 Zkouška měření drsnosti povrchu při konstantním posuvu na zub f_z	51
5.3 Zkouška měření vnesených zbytkových povrchových napětí po obrábění.....	52
6 Vyhodnocování výsledků a závěr	57
7 Seznam použité literatury	59
8 Seznam příloh	61
Seznam obrázků	62

Cíl diplomové práce

Cílem diplomové práce je porovnání hladicích VBD XNGX 0906ANSN firmy Pramet Tools, s.r.o. s 5 různými typy utvařečů třísky P01, P02, P03, P04 a P05 určených pro čelní frézování. Jednotlivé typy utvařečů hladicích VBD se od sebe liší různou velikostí rádiusu a úhlem naklopení rezného břitu. Dle dostupných teoretických informací a analýzou konstrukčních řešení vytvořit soubor doporučení pro konstrukci hladicích VBD a tyto jako prototyp ověřit praktickými zkouškami.

Úvod

Diplomovou práci jsem zpracovával na základě požadavků firmy Pramet Tools, s.r.o.. Počátky výroby jsou známy od r. 1933, kdy firma Ing. Stellwag a spol. založila výrobu nástrojů ze slinutých karbidů (slinutý karbid se vyrábí mícháním směsí kovových i nekovových prášků, které jsou míchány dohromady, lisovány a spékány, kde dochází k procesu slinutí). Roku 1945 byla firma znárodněna na základě dekretu prezidenta republiky E. Beneše pod národní správu. V roce 1949 se začleňuje do závodu Spojených oceláren Kladno a dostává značku POLDI DIADUR. Roku 1951 byl závod vyčleněn ze Spojených oceláren Kladno a založen samostatně fungující podnik Závod Šumperk zřizovací listinou Ministerstva hutí a rudných dolů. V tentýž rok byl v Šumperku vyroben první slinutý karbid. Během několika let se podnik zvětšil o výrobu magnetických měkkých feritů a termistorů (1956), magnetických tvrdých feritů (1957), spékaných třecích materiálů a kontaktů (1958), syntetických diamantů a diamantových brusných kotoučů (1967), polykrystalické diamantové průvhlaky (1982) a VBD z polykrystalického kubického nitridu boru (1983). Roku 1961 byl z Vestce u Prahy přesunut do Šumperka výzkumný ústav práškové metalurgie. 1. dubna 1966 se podnik přejmenoval na Pramet n.p. – závody práškové metalurgie. Den 17.9.1966 byl zapsán do historie Pramet, protože vývojovým pracovníkům se povedlo po dlouhodobé přípravě a výzkumu uměle vyrobit diamant. Rok 1990 zaznamenal změnu struktury firmy a její rozdělení do 8 na sobě nezávislých divizí. Privatizace v roce 1992 umožnila vznik akciové společnosti Pramet, a.s.. 3 roky poté byla vytvořena obchodní pobočka ve Slovenské republice a pak v roce 1996 v Německu. V tomtéž roce byl Pramet začleněn do hutního koncernu Kovohutě Břidličná a byl veden certifikační audit systému řízení jakosti ISO 9001 pro divizi Slinuté karbidy certifikační společností Lloyd's Register Quality Assurance. Rokem 1997 proběhla certifikace dalších divizí v souladu s normami 9001 a byl udělen certifikát jakosti pro divizi Slinuté karbidy podle stejné normy akreditovanou mezinárodní organizací L.R.Q.A. [1].

Dnem 1. září 1999 švédská společnost Pramet Scandinavia skoupila všechna aktiva akciové společnosti Pramet včetně vývoje, výroby a prodej nástrojů ze slinutého karbidu a byla založena firma Pramet Tools, s.r.o. Mimo dvě výrobní divize získal nový majitel výzkumný ústav, obchodní značku včetně loga, patenty a dvě obchodní dceřiné firmy na Slovensku a Německu. Pramet Tools, s.r.o. se tak stala součástí švédské skupiny SECO TOOLS AB, čtvrtý největší výrobce obráběcích nástrojů na světovém trhu. SECO je dodavatelem práškového karbidu do Pramet Tools, s.r.o. a stará se i o vratný materiál a jeho následné zpracování. Vstup firmy SECO vedlo ke změnám v oblasti vedení, tak i

v oblasti výroby. Bylo založeno oddělení logistiky, veškeré administrativní a výrobní procesy jsou sledovatelné přes počítač. Všechny pobočky jsou propojeny počítačovou sítí. Zákazník si může na nových internetových stránkách vysledovat skladové množství potřebného sortimentu s denními aktualizacemi. Se zavedením nového systému se snížily i dodací lhůty skladových výrobků, což v České republice činí 24 hodin, mimo republiku do 48 hodin. Ve výrobě je v každé fázi výrobku přiřazen čárový kód a je možné jej sledovat, v jaké části výrobního procesu se výrobek nachází, z čehož lze stanovit jeho dokončení, a tím i datum dodání [1].

Rok 2000 je označován jako rok prodejní expanze. Otevřena je nová dceřiná společnost v Polsku. Roku 2002 se otevírá pobočka v Itálii. Rokem 2004 dostává firma certifikát environmentálního systému ISO 14001 společností L.R.Q.A. V roce 2005 bylo dosaženo certifikace integrovaného systému jakosti ISO 9001:2000 A ISO 14001:2004 (jakost, environment) společností L.R.Q.A. [1].

V roce 2007 byly založeny dceřiné společnosti v Rusku a v Maďarsku. V roce 2008 byly založeny pobočky v Brazílii a Indii. V roce 2010 byla založena pobočka v Číně [6].

Od roku 2012 byly všechny akcie firmy Pramet Tools, s.r.o odkoupeny firmou Sandvic Coromant.

1 Výrobní program Pramet Tools, s.r.o.

Pramet Tools, s.r.o. produkuje tyto výrobky:

▪ NÁSTROJE PRO TŘÍSKOVÉ OBRÁBĚNÍ

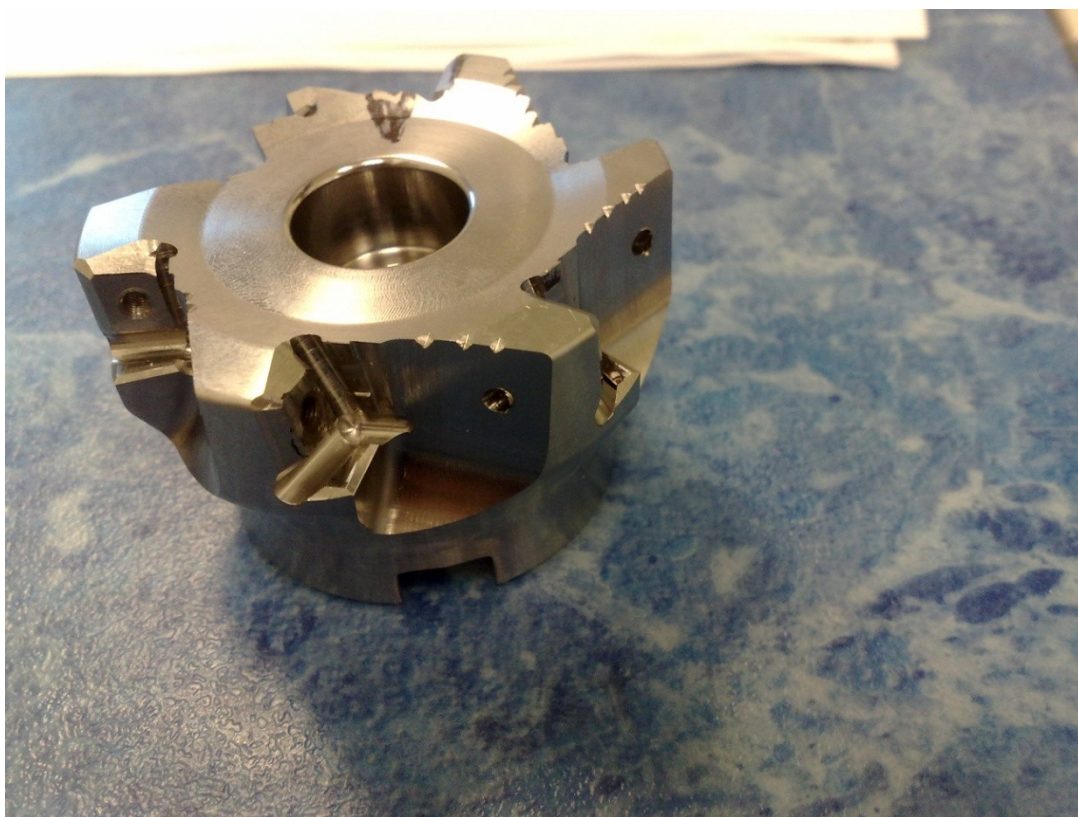
- vyměnitelné břitové destičky pro soustružení a soustružnické nože, frézovací nástroje s VBD (obr. 1), vrtání, vyvrtávání a jejich speciální operace, soustružnické nástroje, vrtáky s VBD, upínače, monolitní frézy-VHM, od poloviny roku 2011 výroba kazet pro frézování kolejnic pro německou železnici (obr. 2 a 3).

▪ LISOVACÍ NÁSTROJE

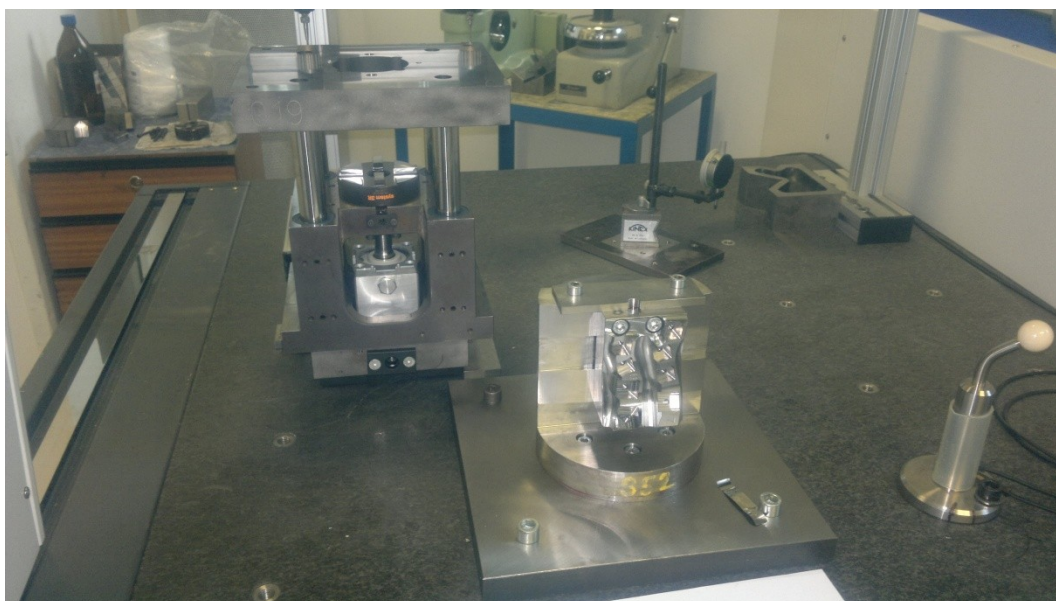
- výroba lisovacích nástrojů ze slinutého karbidu, ale jen pro interní potřebu výroby

▪ NÁŘADÍ PRO TAŽÍRENSKÝ PRŮMYSL

- těsnící kroužky a pouzdra pro čerpací techniku, speciální polotovary, nářadí pro válcování drátů a trubek za studena a za tepla, průvlaky, matrice, tažné kroužky, trny, rolny, součásti a konstrukční díly s vysokou otěruvzdorností [1].



Obr. 1 Ukázka výrobku firmy Pramet Tools, s.r.o. nástroj pro čelní frézování před povrchovou úpravou



Obr. 2 Měření kazet pro německou železnici (vpředu) na souřadném měřicím stroji Zeiss Prismo Vario



Obr. 3 Hotová kazeta s VBD

2 Současný stav techniky v oblasti hladících VBD pro frézování

V současnosti se výrobci snaží v technologii obrábění nahradit drahé a málo produktivní dokončovací operace, příkladem je broušení. V operaci frézování nahradíme v lůžku frézovacího nástroje v našem případě čelní fréza (obr. 22, 23 a 24) stávající VBD např. jedinou hladicí destičkou. Hladícími VBD dosahujeme zvýšenou kvalitu povrchu a vysokou přesnost tvarů a rozměrů než konvenčními metodami obrábění. Dokončování rovinných a tvarových ploch je při operaci frézování zvláště náročné na zvolení vhodných nástrojů a stanovení optimálních řezných podmínek [2].

2.1 VBD XNGX 0906ANSN firmy Pramet Tools, s.r.o.

V polovině roku 2011 byly představeny VBD HNGX 0906ANSN spolu s hladícími VBD XNGX 0906ANSN (obr. 4). Tato řada frézovacích destiček má úhel nastavení 45° a je určena pro hrubovací a dokončovací operace. Tyto břitové destičky mají 12 řezných hran, přičemž lze volit ze tří typů geometrií (F, M, R) a hladicí geometrie. K dispozici jsou řezné materiály s PVD a CVD povlakem. Skrze pozitivní geometrie vykazuje celé řešení nízký řezný odpor, a zároveň nižší požadavky na výkon obráběcího stroje. Uživatelé, kteří vyžadují kritérium drsnosti obrobeného povrchu, sáhnou po hladících VBD XNGX 0906ANSN [3, 8].



Obr. 4 Nové destičky přinášejí dobrou jakost obrobeného povrchu

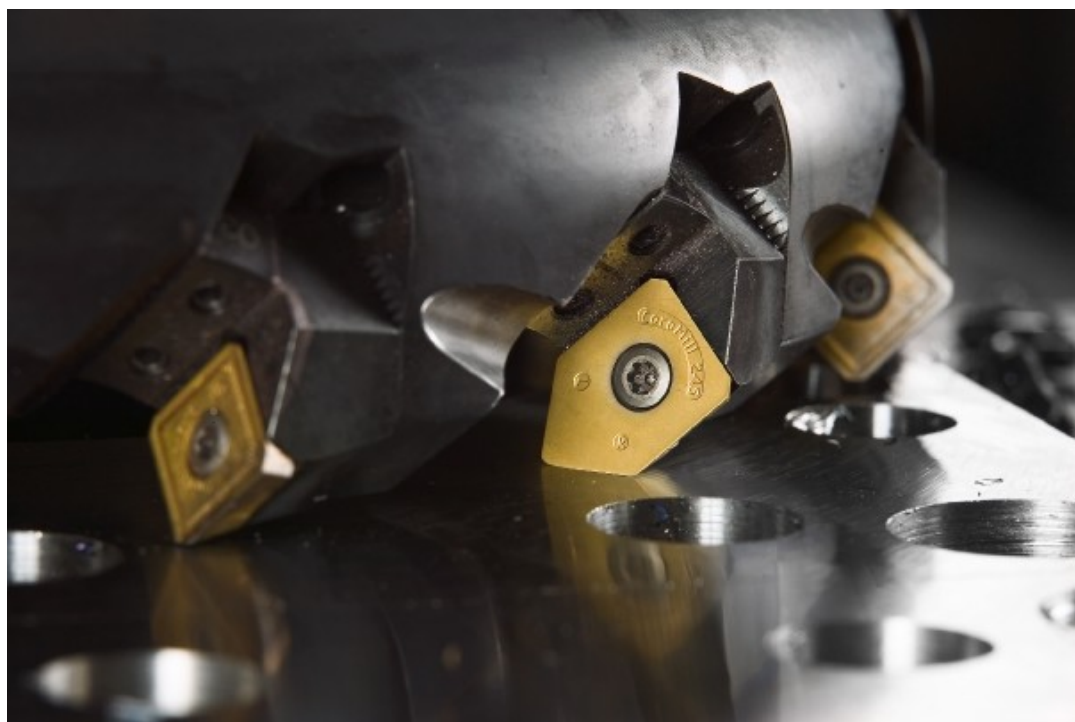
S těmito frézovacími nástroji lze provádět rovinné frézování, drážkování a srážení hran, taktéž zajíždět pod úhlem a postupně se zavrtávat. Jsou určeny především pro materiály s drobivou třískou typickou pro litiny. S těmito VBD dosahujeme velice dobré kvality obrobeného povrchu. S výše popsaným nástrojem lze obrábět celou řadu materiálů s maximální hloubkou řezu $a_p = 5$ mm a rozsahem posuvu na zub $f_z = 0,1$ až $0,5$ mm[3].

2.2 VBD Seco

Ve své podstatě ve švédském Seco se vyrábí lisovací nástroje v setinách milimetrů a v Pramet Tools, s.r.o. se vyrábí lisovací nástroje v tisícinách milimetrů.







2.3 VBD Sandvik Coromant

Výrobce na svých stránkách uvádí, že lze vynikající drsnosti dosáhnout při použití standardních břitových destiček s použitím jedné nebo i více hladících VBD (obr. 5). Při zvyšování rychlosti posuvu na zub f_z se zvyšuje účinnost těchto hladících destiček s použitím fréz větších průměrů. Dále výrobce uvádí, že posuv na zub f_z můžeme zvýšit přibližně 4x, při zachování požadované kvality obrobené plochy. Tyto hladící VBD lze použít pro obrobení většiny materiálů a to i při nepříznivých podmínkách obrábění [4].

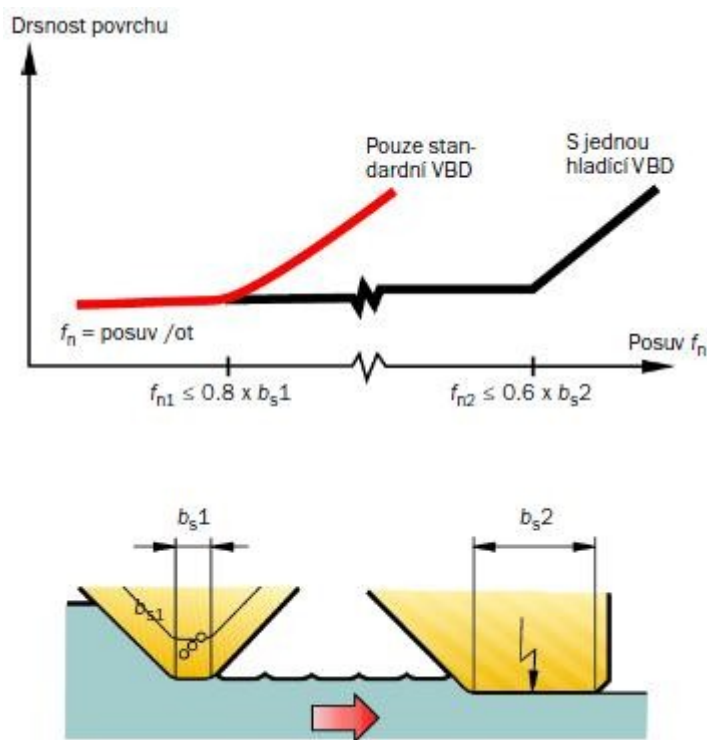


Obr. 5 Hladící VBD CoroMill® 245 firmy Sandvik Coromant [4]

Na (obr. 6) jsou uvedeny parametry řezné geometrie různých typů hladících VBD pro čelní frézování firmy Sandvik Coromant. Na (obr. 7) je vidět graf závislosti drsnosti na posuvu na zub f_z . U této závislosti je vidět, že pokud standardní destička dosáhne posuvu na zub f_z 80% z délky paralelního zábřitu b_s , tak tím dosáhneme zlepšení kvality obrobené plochy. U fréz s velkým průměrem a s rostoucím počtem zubů se zvyšuje posuv na zub f_z , a je z hlediska dobré kvality obrobené plochy nutné použití hladících VBD. Správné upnutí ve fríze ovlivňuje vlnitost obrobené plochy. Hloubka řezu a_p se volí co nejmenší, aby axiální síly zůstaly malé, a tím se snížilo riziko vibrací. Hloubku řezu a_p volíme 0,8 až 1 mm [4].

	CoroMill® 345	CoroMill® 245	CoroMill® 365	CoroMill® Century	AUTO-AF	AUTO-FS
Úhel nastavení (κ_r), mm	45°	45°	65°	90°	75°	90°
Max. hloubka řezu (a_p), mm	6	10	6	10	1	8.1
Průměr frézy (D_0), mm	40 – 250	32 – 250	40 – 250	40 – 200	80 – 500	125 – 500
Drsnost povrchu (R_a)	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0
Materiál						

Obr. 6 Parametry různých typů hladících VBD firmy Sandvik Coromant [4]



Obr. 7 Graf závislosti drsnosti na posuvu na zub f_z [4]







3 Návrh zkušebního nástroje včetně geometrie, konstrukčních prvků a řezných podmínek

3.1 Volba typu břitu VBD pro frézování

VBD pro frézování jsou dodávány v různých provedeních typů břitu. Úprava břitu má za následek ovlivnění vlastností a životnosti nástroje. A podle tohoto odpovídají specifickým nárokům, které jsou na břit kladeny. Jedná se především o tyto typy břitů (obr. 8). Materiál břitu se volí v souladu s normou ISO 513 (obr. 9) po přiřazení obráběného materiálu do jedné z šesti tříd a dle předpisů řezných materiálů jednotlivých výrobců [5].

	<p><i>Ostrý břit</i> je doporučován pro VBD určené pro frézy k obrábění slitin Al a dalších slitin neželezných kovů. Ostrý břit dosahuje minimální deformace odřezávané vrstvy, omezuje vznik nárustku a snižuje velikost řezných sil. V porovnání s ostatními úpravami řezné hrany je ovšem pevnost břitu menší.</p>
	<p><i>Břit s fazetkou</i> podstatně zvyšuje odolnost proti křehkému porušení nebo lomu celého břitu. Fazetka o šířce x a úhlu γ_x zvětšuje v těsné blízkosti břitu úhel břitu β a tím zvyšuje pevnost ostří. V současnosti se tato úprava ostří používá velmi zřídka, protože je nahrazena úpravou – rektifikovaný břit s fazetkou.</p>
	<p><i>Břit s rektifikovaným ostřím</i> – ostří je mírně zaobleno s cílem snížit mikronerovnosti ostří. Rektifikací ostří s velmi malým poloměrem je dosaženo zvýšení odolnosti proti mechanickému porušení řezné hrany křehkým lomem nebo mikrovýštipováním. Tato úprava je v současné době používána u všech VBD bez fazetky, které se používají pro frézování téměř všech druhů materiálů.</p>
	<p><i>Rektifikovaný břit s fazetkou</i> – v porovnání s ostrým břitem s fazetkou je zde navíc provedena rektifikace, která zaobluje ostří zesílené fazetkou. Tato úprava zvyšuje odolnost břitu proti mechanickému porušení v nejvyšší možné míře.</p>

Obr. 8 Různé typy břitů pro rovinné frézování [5]

P	<ul style="list-style-type: none"> - uhlíkové (nelegované) oceli třídy 10, 11, 12, - uhlíková ocelolítina sk. 26 (42 26..) - nízko a středně legované ocelolitiny sk. 27 (42 27..) - nástrojové oceli uhlíkové (19 1.., 19 2.., 19 3..), - legované nástrojové oceli (19 3.. až 19 8..) - nízko a středně legované oceli tř. 13 (13 0., 13 1., 13 2.., 13 ..3) - legované oceli tříd 14, 15, 16, - feritické a martenzitické korozivzdorné oceli (tř. 17 a lité 42 29..) 	
M	<ul style="list-style-type: none"> - austenitické a feriticko-austenitické oceli korozivzdorné, žáruvzdorné a žárupevné - oceli nemagnetické a otěruvzdorné 	
K	<ul style="list-style-type: none"> - šedá litina nelegovaná i legovaná (42 24..) - tvárná litina (42 23..) a temperovaná litina (42 25..) 	
N	- slitiny Al a Cu a ostatní neželezné kovy	
S	- speciální žárupevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti	
H	<ul style="list-style-type: none"> - zušlechtěné oceli HRC 48 - 60 - tvrzené kokilové litiny HSh 55-85 	

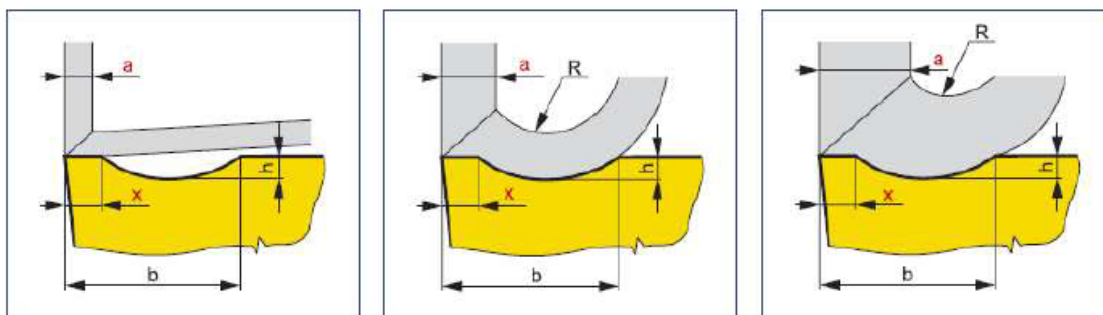
Obr. 9 Rozdělení obráběných materiálů dle ISO 513 [6]

3.2 Volba vhodného utvařeče třísky

Tvar odebírané třísky závisí na mnoha faktorech. Jsou to především vlastnosti odebíraného materiálu, jeho pevnost, houževnatost a struktura, vlastnosti řezného materiálu, hlavně pak třecí vlastnosti myšleno čelo nástroje, statické a dynamické vlastnosti obráběcího stroje, procesní kapalina, geometrie nástroje a řezné parametry. Tedy všechno tyto faktory v kombinaci rozhodují o tom, zda vznikne krátká dělená transportovatelná třísky nebo plynulá, eventuálně smotaná třísky zaplňující rychle prostor stroje a je tak bariérou znemožňující práci stroje. Řešený typ utvařeče třísky (obr. 13 a 14) láme třísku pouze v určitém rozmezí posuvu na zub f_z a hloubce řezu a_p . Minimální posuv na zub f_z , na kterém začíná utvařeč fungovat, je závislý hlavně na šířce fazetky x a na jejím úhlu γ . Maximální posuv na zub f_z , kdy končí funkce utvařeče je závislý u žlábkového utvařeče na vzdálenosti výstupní hrany žlábků od ostří b a na hloubce žlábků h [1].

Když hloubka odřezávané vrstvy je výrazně menší než šířka fazetky x , poté dochází ke kontaktu třísky jen na fazetce. Ale dochází k jevu, kdy odebíraná třísky nemůže vniknout do utvařeče a tudíž nemůže být utvářena. Použijeme-li vyšší posuv na zub f_z , který bude větší než tloušťka odebírané vrstvy, kdy $x < a$, odebíraná třísky vniká do utvařeče a je jím utvářena. Zakřivena pod určitým poloměrem R . Je-li $x \ll a$, bude docházet nejprve k příliš

tvrdému utváření tzv. „drcení“ a při dalším navyšování posuvu na zub f_z odebíraná tříska nevniká do utvařeče a není tedy ovlivněn tvar odebírané třísky, což je špatně (obr. 10) [1].



Obr. 10 Závislost velikosti fazetky na rychlosti posuvu na zub f_z ovlivňuje tvar odebírané třísky [1]

3.1 Řezné podmínky pro frézování

Mezi základní řezné podmínky řadíme řeznou rychlost v_c , posuv na zub f_z a hloubku řezu a_p .

Nejdříve je nutno klasifikovat obráběný materiál do jedné ze šesti tříd dle normy ISO 513 (obr. 8) pro správnou volbu řezných podmínek. Poté je nutno zařadit pro jakou operaci frézování dle charakteru, jestli lehké, střední nebo těžké [5].

Lehké frézování je charakterizováno maximálně jedním přerušením řezu během otáčky, povrch bez nerovností, rozmezí posuvu na zub $f_z = 0,1$ až $0,25$ mm, hloubka řezu a_p menší než 2 mm [5].

Střední frézování charakterizuje maximálně 2 přerušení řezu v průběhu otáčky, povrch obrobku po kování nebo válcování, malé povrchové vady, posuv na zub $f_z = 0,3$ až $0,4$ mm, hloubka řezu $a_p = 2$ až 4 mm [5].

Těžké frézování charakterizuje vícenásobné přerušení řezu, většinou odlitky, nerovný povrch výkovků, nerovnoměrná hloubka řezu $a_p = 3$ až 10 mm [5].

Startovací řezná rychlost se bude volit s ohledem na řezný materiál VBD, podle typu VBD, posuvu na zub f_z a hloubky odebírané třísky a_p z katalogů firmy. Trvanlivost VBD bývá kalkulována na 30 minut. Rovněž bývají v katalogích uvedeny korekční součinitelé pro přepočítání řezných rychlostí s ohledem na stav stroje, požadavky trvanlivosti nástroje, dále materiál a tvrdost obráběného materiálu. Tyto součinitele použijeme pro výpočet výsledné startovní řezné rychlosti dle vztahu [5]:

$$v_c = v_{30} \cdot k_{vx} \cdot k_{vT} \cdot k_{vHB} \quad [m \cdot min^{-1}] \quad (1),$$

kde k_{vx} , k_{vT} , k_{vHB} určíme z tabulek.

Tuto vypočítanou startovní řeznou rychlost bude určující jako základní úroveň pro danou operaci. Chceme-li dosáhnout hospodárné trvanlivosti, tak je třeba řeznou rychlost dosáhnout experimentálně, z důvodu velkého rozptylu obrobiteľnosti obráběného materiálu [5].

Posuv na zub f_z může být podélný, příčný nebo jeho kombinace. Dále může být posuv na zub f_z plynulý nebo po přítržích. U rovinného frézování pracuje řezná část nástroje vždy v podmínkách přerušovaného řezu. Každý břit vniká minimálně jednou do obrobku za jednu otáčku a jednou vychází ze záběru. Zde dochází během frézování ke změně tloušťky materiálu během otáčky. Následkem tohoto vzniká kolísání velikosti a směru tangenciální složky řezné síly. Nástroj je vystaven cyklickému namáhání, což je příčinou jeho opotřebení [7].

Rozhodující podmínky pro trvanlivost řezné části nástroje jsou, jak nástroj vniká a jak z něj vystupuje. Místo vstupu do obrobku je důležitý faktor ovlivňující hlavně trvanlivost hlavního břitu nástroje, chvění a nejdůležitější kvalitu obrobené plochy, kterou budeme v experimentální části zkoumat. Právě proto volba těchto podmínek ovlivní průběh a výsledek frézování [7].

Ve chvíli vniku břitu do nástroje je vystaven mechanickému rázu, které vyvolá mechanické namáhání. Nevhodně zvolené podmínky vyvolají křehké porušení břitu [7].

Pro nástroje s VBD se doporučuje realizovat sousměrný záběr tzn., aby řezná část nástroje zabírala do maximální možné tloušťky. Poté je nutné, aby první dotyk nástroje ležel mimo špičku ϵ a ostří nástroje [7].

Výstup břitu z obrobku je vystaven teplotním rázům vyvolaných prudkým ochlazením a také mechanickým rázům vyvolaný pružnou deformací. Proto je důležité, aby byla dodržena malá tloušťka odebírané třísky [7].

Ve srovnání s konvenční obráběním soustružení, kde odebíraná třísky je konstantní a její závislost je na posuvu na zub f_z a úhlu nastavení κ_r . Jak již bylo zmíněno, při frézování se mění tloušťka odebírané třísky, což je nejdůležitější pojem při stanovení podmínek frézování [7].

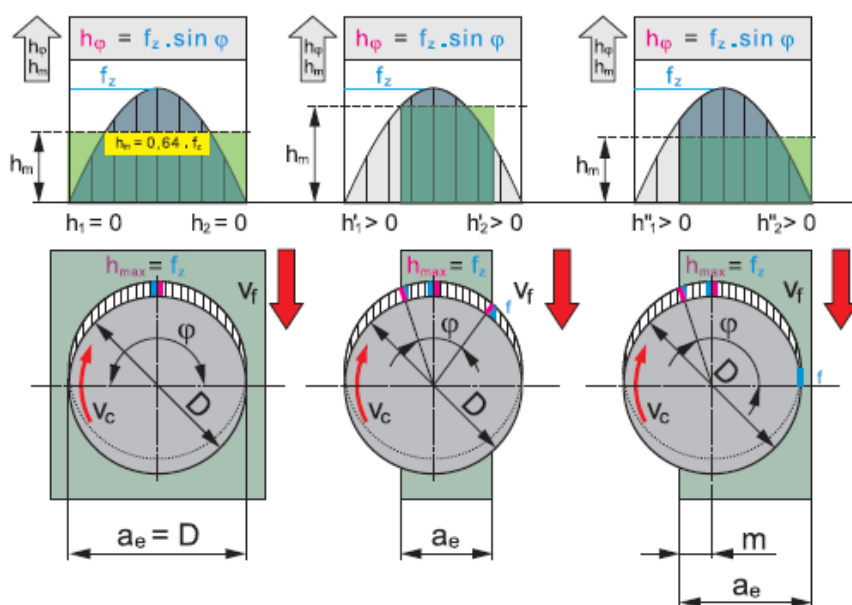
Velká proměnlivost tloušťky odebírané třísky se při různých způsobech frézování počítá jako střední hodnota h_m . Tloušťka třísky h se mění během jedné otáčky v závislosti na úhlu φ podle vztahu [7]:

$$h_\varphi = f_z \cdot \sin \varphi \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

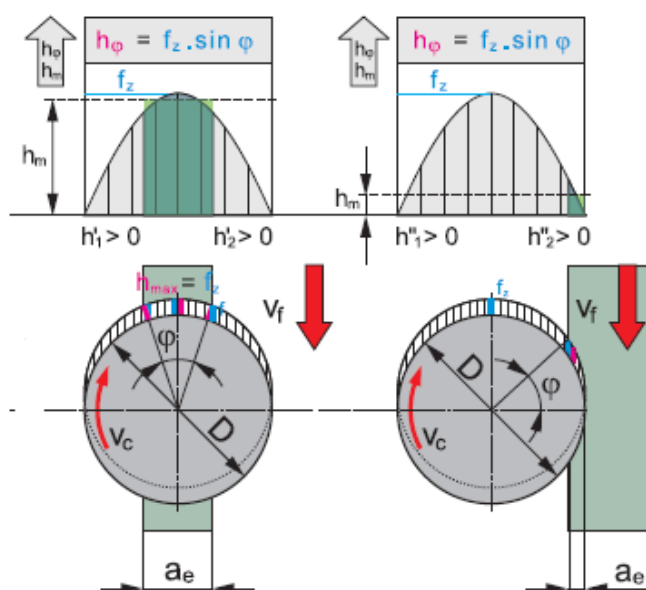
Křivkou této závislosti je sinusovka (obr. 11 a 12). Maximální tloušťky třísky h_ϕ se dosahuje v ose frézy. Sinusovka je vztažena na radiální hloubku řezu a_e . Z grafu je vidět, že sinusovka představuje plochu, která je rovna obdélníku, která se vypočítá jako střední hodnota tloušťky třísky h_m ze vztahu [7]:

$$h_m = f_z \cdot \sin K_r 57,3 \left(\frac{a_e}{D \cdot \sin^{-1} \left(\frac{a_e}{D} \right)} \right) \quad [\text{mm}] \quad (3)$$

, kde f_z [mm] je posuv na zub, D je průměr frézy [7]

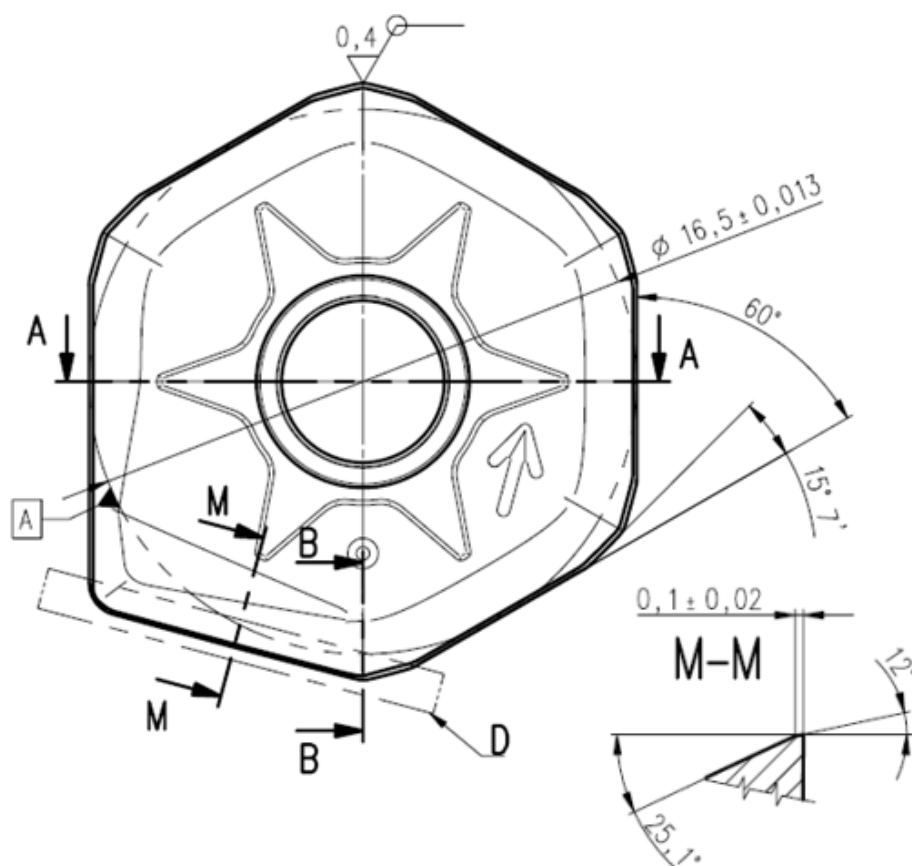


Obr. 11, Obr. 12 Na grafech je vidět závislost radiální hloubky řezu na střední hodnotě tloušťce třísky [7]

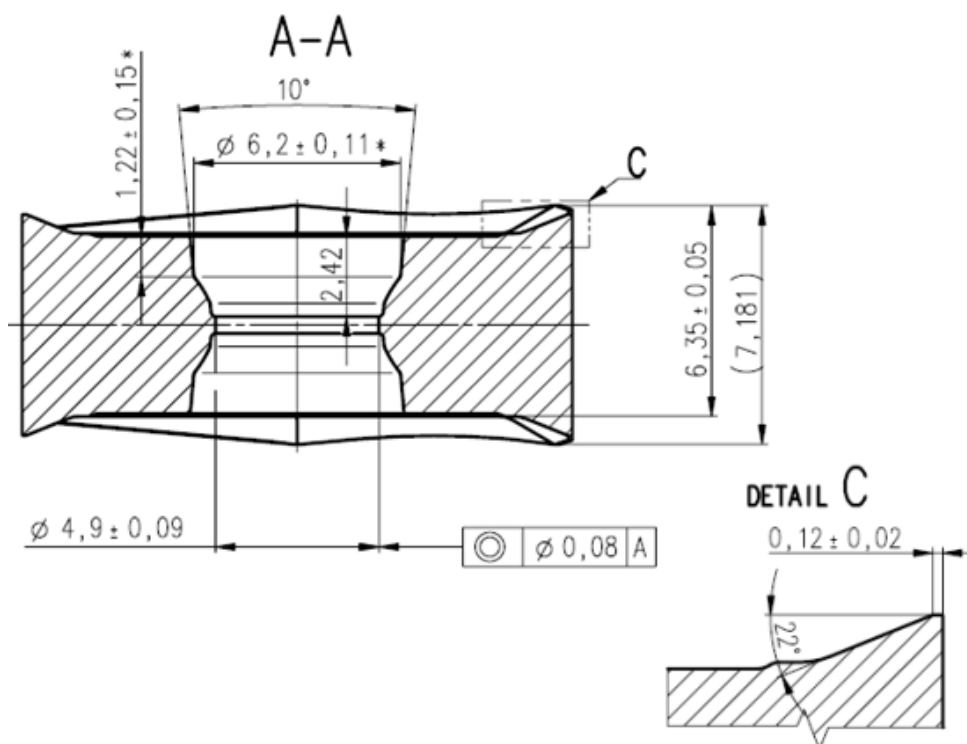


V experimentální části jsme z tohoto vztahu stanovili tzv. funkční šířku záběru břitové destičky.

3.2 Utvařec třísky VBD XNGX 0906ANSN



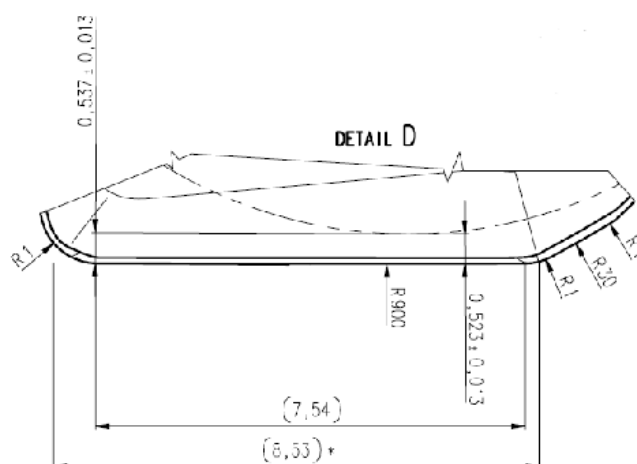
Obr. 13 Destička XNGX 0906ANSN [6]



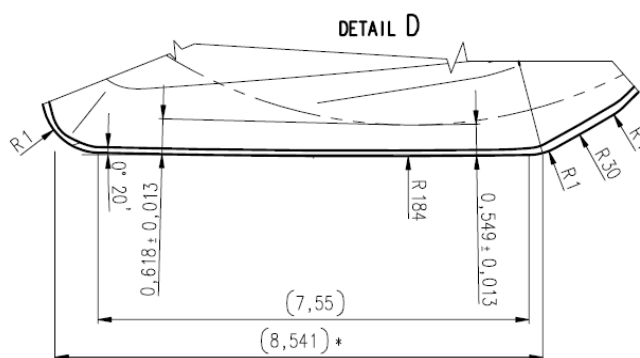
Obr. 14 Destička XNGX 0906ANSN v řezu [6]

3.3 Konstrukční prvky utvařeče třísky VBD XNGX 0906ANSN

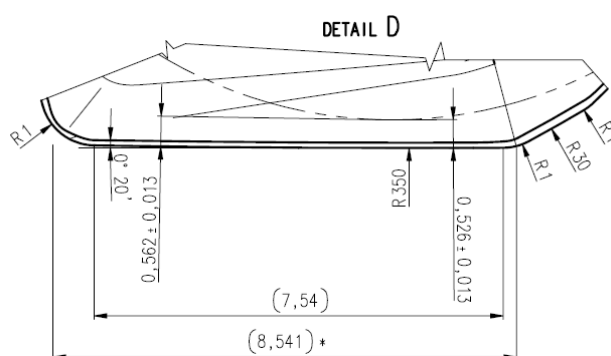
Pro ukázkou přikládám 3 z 5 různých typů řezné geometrie utvařeče třísky s rozdílnými konstrukčními prvky použitých při experimentu (obr. 15, 16 a 17), které navrhl konstruktér. Jednotlivé typy utvařečů hladicích VBD se liší různou velikostí radiusu a úhlem naklopení hladicího břitu. Profil hlavního břitu XNGX 0906ANSN (obr. 21). Velikosti fazetek jsou na všech hladicích VBD shodné. Na hladicím břitu je fazetka 0,1 mm pod úhlem 12° a utvařeč třísky má 25° (obr. 13) a na klasické řezné hraně je fazetka 0,12 mm negativně (0°) a utvařeč třísky má 22° (obr. 14).



Obr. 15 Destička XNGX 0906ANSN s utvařečem třísky P05 [6]

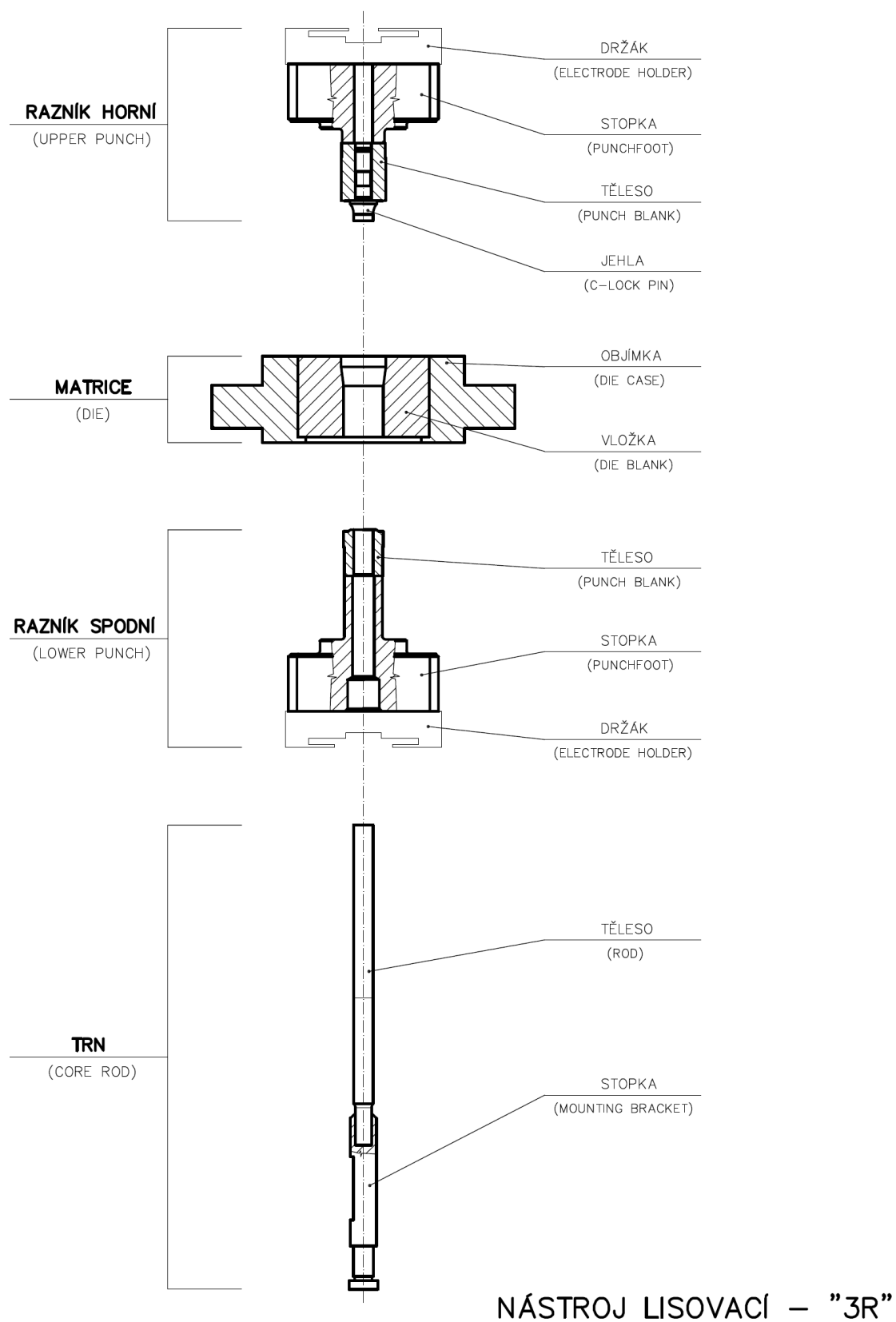


Obr. 16 Destička XNGX 0906ANSN s utvařečem třísky P02 [6]



Obr. 17 Destička XNGX 0906ANSN s utvařečem třísky P01 [6]

3.4 Kompletní lisovací nástroj pro výrobu VBD XNGX 0906ANSN



Obr. 18 Kompletní lisovací nástroj [6]

Celý lisovací nástroj (obr. 18) se vyrobí v nástrojárně, která se nachází v podniku. Komponenty lisovacího nástroje sestávají z 2 ks matric, 3 ks horního razníku, 2 ks spodního razníku a 2 ks trnů. Jako příklad uvádím výrobu matrice, spodní razník a horní razník se vyrobí obdobně.

Lisovna zadá požadavek do nástrojárny. Polotovary vyrábí externí firma. Polotovary jsou vyrobeny z rychlořezné oceli, protože při lisování dochází k velkým tlakům. U konstrukčních ocelí by docházelo k deformacím, eventuálně by docházelo k vyosení. Vložka je ze slinutého karbidu. Matrice je umístěna do přípravku a spojena s přípravkem 2 šrouby. Pro utažení se používá klasický imbus. Dutina matrice tzv. „negativ“ je obroben na požadovaný rozměr na elektroerozivních strojích tzv. „drátovkách“ firmy Sodick v tisícinách milimetrů. Dále se v nástrojárně vyrobí elektrody s požadovaným utvařečem třísky na strojích Kern. Elektrody se vyrábí v 6 ks v různých provedeních rozměrů. Z toho 3 ks elektrod jsou hrubovací menší o 0,15 mm oproti skutečnému rozměru, 2 ks polohrubovací menší o 0,08 mm a 1 ks dokončovací menší o 0,03 mm. Poté následuje operace elektroerozivní obrábění tzv. „hloubení“, kde se obrábí tzv. „pozitiv“ na strojích firmy Sodick, který je ve stroji upevněn opět vzduchovým upínačem 3R pro dodržení souososti. Po několika hodinách obrábění probíhá kontrola rozměrů na kontrolním pracovišti. Pracoviště je vybaveno optickými přístroji a dvěma souřadnými měřicími přístroji Zeiss. Přípravek s matricí se upne do vzduchového upínače 3R na stroji Zeiss se změří rozměry, obrábění probíhá, dokud rozměry neodpovídají požadavkům výkresu v toleranci +0,003 mm, ponechává se přídavek pro lapování, posléze proběhne dokončení obrábění. Tato operace trvá desítky hodin. Po obrobení je povrch matrice hrubý. Matrice se vyjme z přípravku. Dutinu matrice lapuje nástrojař do zrcadlového lesku ručně brusnou pastou. Operace trvá zhruba 30 minut, záleží na velikosti a složitosti utvařeče třísky (obr. 13 a 14). Po lapování je matrice předána kontrolnímu pracovišti. Zde se kontroluje správnost utvařeče třísky. Matrice je opět upevněna do přípravku do vzduchového upínače 3R. Na strojích Zeiss se změří souosost tolerance $\pm 0,005$ mm a rozměry vepsané kružnice matrice musí být v toleranci $\pm 0,002$ mm. U horního a spodního razníku se kontrolují rozměry fazetek na optických přístrojích. Dále se kontrolují rozměry přes rohy, musí být symetrické. U horního nebo spodního razníku, pokud jsou rozměry nesymetrické, musí dojít k opětovnému přepalu. V případě matrice se musí vytvořit hlášení o zmetkovitosti. Musí se znovu vyrobit elektrody a vydat nový polotovar matrice. Všechny operace se musí opakovat.

Pokud je matrice v pořádku, kontrolor vydá osvědčení o jakosti. Matrice zůstává na kontrolním pracovišti, kde se ponechá, než se vyrobí zbytek komponent lisovacího

nástroje. Po kompletaci lisovacího nástroje se testuje, jestli do sebe lícují jednotlivé komponenty nástroje, tolerance pro složení s vůlí většinou bývá $\pm 0,01$ až $\pm 0,015$ mm, závisí na požadavcích konstruktéra a především zákazníka. Následuje lisovací zkouška lisovacího nástroje na lisovně. Celý lisovací nástroj se vloží do ADAPTORU (obr. 2) v pozadí.

3.5 Výroba prototypu zkušebního nástroje VBD XNGX 0906ANSN

Nejdříve zahájím popis přípravy vstupních surovin tj. příprava karbidických a pojivových kovů. Průřez výrobou destičky (obr. 19) [6].

Slinutý karbid se sestává z více složek. První tzv. řeznou složku tvoří karbidy, které jsou v mezerách vyplněny pojivou složkou. Jedná se především o kovy kobalt a nikl. V konečné fázi výroby VBD hraje důležitou roli druh karbidu a velikost karbidických zrn [6].

Nyní můžeme pokračovat v další operaci při výrobě tzv. nadávkování neboli navážení [6].

Tuto vzniklou směs musíme ještě homogenizovat, hovorově se tomu říká mletí. Navážené suroviny se spolu s technologickou mlecí kapalinou umístí do zařízení k tomuto uzpůsobené. Vybereme buď atritor nebo kulový mlýn. Mícháním je pak směs homogenizována [6].

Dále následuje proces sušení. Kašovitá hmota je vstříknuta do nádoby, kde se neustále promíchává, aby nedošlo k její sedimentaci na povrchu nádoby, a současně se vstřikuje do sušících věží. V těchto věžích je pak tvrdokovový prach unášen ohřátým inertním plynem. Tento prach je pak zachytáván do speciálních zásobníků. Tento získaný materiál je balen a uskladněn. Prášek se dováží ze Švédska firmou Seco [6].

Hotová finální vstupní surovina je k dispozici a přejdeme tedy k samotné výrobě VBD. Dalším výrobním cyklem je lisování. U této operace je přesně dáno množství lisovacího prášku, které si lisovací stroj v našem případě TPA 15 určuje automaticky. Lisovací prášek je sypán z násypníku do lisovacího nástroje, který byl popsán v předchozí kapitole. Směs je lisována protiběžným pohybem razníků. Spodní razník pak vysune polotovar destičky z matrice, kde je odebrána manipulátorem. Nyní se nám vytvořil polotovar, který zdaleka neodpovídá finálním vlastnostem destičky [6].

Přecházíme k nyní k operaci slinování, je to jedna z nejvíce kritických fází výrobního procesu VBD. Při operaci slinování dochází ke změně pórovitého prášku na kompaktní výrobek, kde dojde ke značnému zhutnění materiálu slinutého karbidu, jehož důsledkem je

proces rekrytalizace karbidických zrn přes roztavený kobalt. Proces probíhá ve vakuu ve speciálních pecích za vysokých teplot v našem případě 1410°C a celý proces trvá několik hodin [6].

Po předchozí operaci máme polotovár, který odpovídá požadovaným mechanickým vlastnostem, nyní provedeme pískování čel [6].

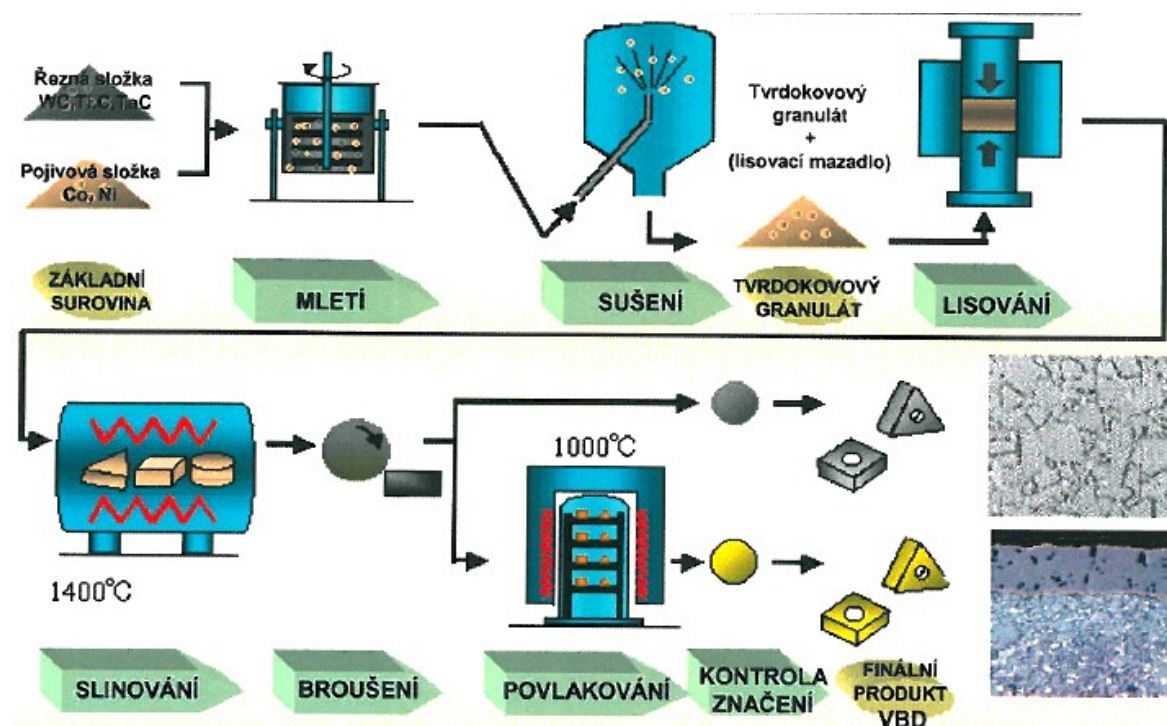
U VBD HNGX 0906ANSN se nebrousí dosedací plochy [6].

Další operací je broušení obvodových (hřbetních ploch) kdy v průběhu operace je na jedno upnutí broušena obvodová plocha destičky a to včetně přechodových rádiusů [6].

Většina VBD má provedeno zaoblení břitu tzv. rektifikaci. Tuto operaci lze učinit dvěma způsoby. První z nich je kartáčování řezné hrany, kde řezná hrana je zaoblena rotačními kartáči. Druhý způsob je pískování, kdy řezná plocha je bombardována brusnými segmenty. Poté následuje omytí VBD [6].

Následuje operace povlakování. Dochází k nanesení ochranné vrstvy, která zvyšuje mechanické vlastnosti VBD. Na VBD XNGX 0906ANSN se použije PVD (Physical vapour deposition) povlakování. Proces probíhá ve vakuu za nízkých teplot $400\text{--}500^{\circ}\text{C}$. VBD jsou umístěny do komory. Při odpařování je kov nanášen na destičku pomocí elektrického oblouku, svazkem elektronů nebo odporovým ohřevem [6].

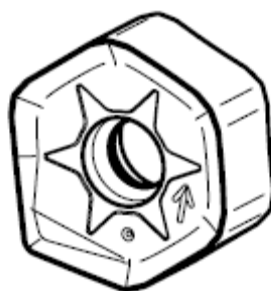
Tímto je proces výroby VBD ukončen a následují operace značení a balení. Celý proces postupu výroby je vidět v tab. 1. Na (obr. 20) je vidět hotová destička. Použití materiálů pro obrobený a rozsah řezných podmínek (obr. 21) [6].



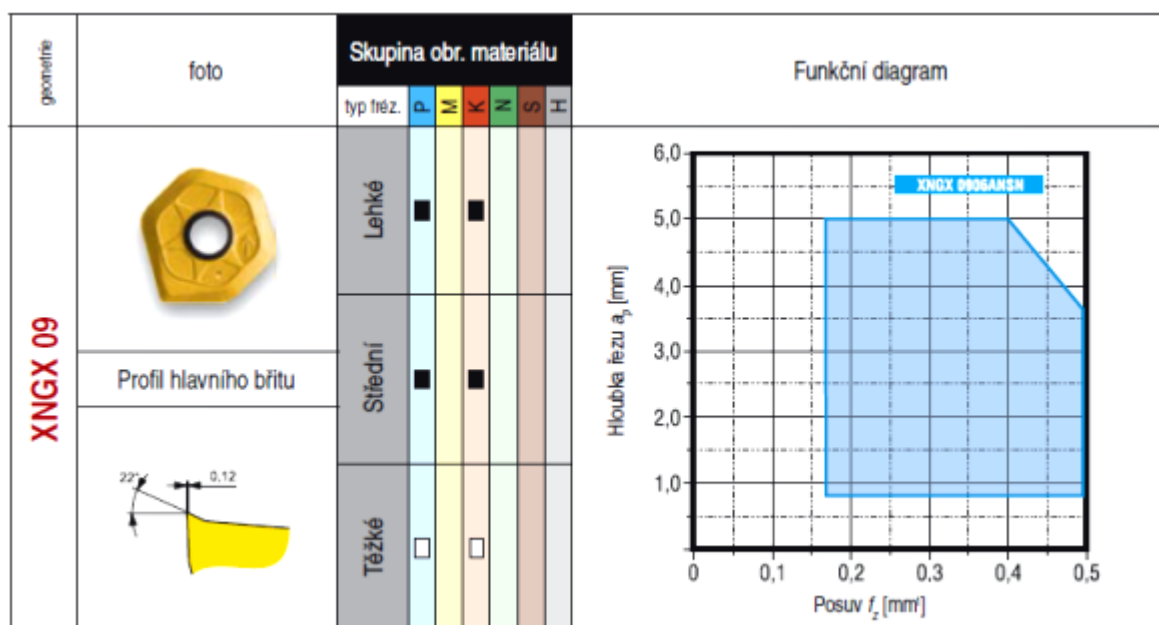
Obr. 19 Schématický průřez výrobou VBD [6]

Tab. 1 Technologický postup výroby VBD XNGX 0906ANSN [6]

<i>Číslo operace</i>	<i>Operace</i>	<i>Stroj, zařízení</i>	<i>Pracoviště</i>
0010	Lisovat dle předepsaných hodnot	TPA 15	Lisovna
0020	Slinovat B3/9-1410°, kontrola rozměrů	Balzers	Slinovna
0030	Opískovat čela	Rosler	Pískovna
0040	Brousit hřbety a rádiusy.diak.D46/pasam	Wac-725	Brusírna
0050	Oboustranně zaoblit řeznou hranu 30+/-5	Rsn	Brusírna
0060	Omytí		
0070	Statistická kontrola	Statkont	Kontrola
0080	Povlakování PVD,400- 500°C	Marwin 50M	Povlakovna
0090	Značit a balit		Balírna



Obr. 20 3D pohled destička XNGX 0906ANSN [6]



popis	Použito u VBD: XNGX 0906ANSN
<ul style="list-style-type: none">- hladící geometrie- vhodná pro obrábění materiálů skupin materiálů P a K- zejména vhodná pro lehké a střední obrábění	
Rozsah řezných podmínek:	
f_z	0,17 ÷ 0,5 [mm.zub ⁻¹]
a_p	0,8 ÷ 5,0 [mm]

☒ hlavní oblast použití

☐ další použití

☐ podmíněné použití

■ hlavní oblast použití

□ další použití

□ podmíněné použití

Obr. 21 Rozsah řezných podmínek a graf závislosti posuvu na zub f_z na hloubce řezu a_p VBD XNGX 0906ANSN [7]

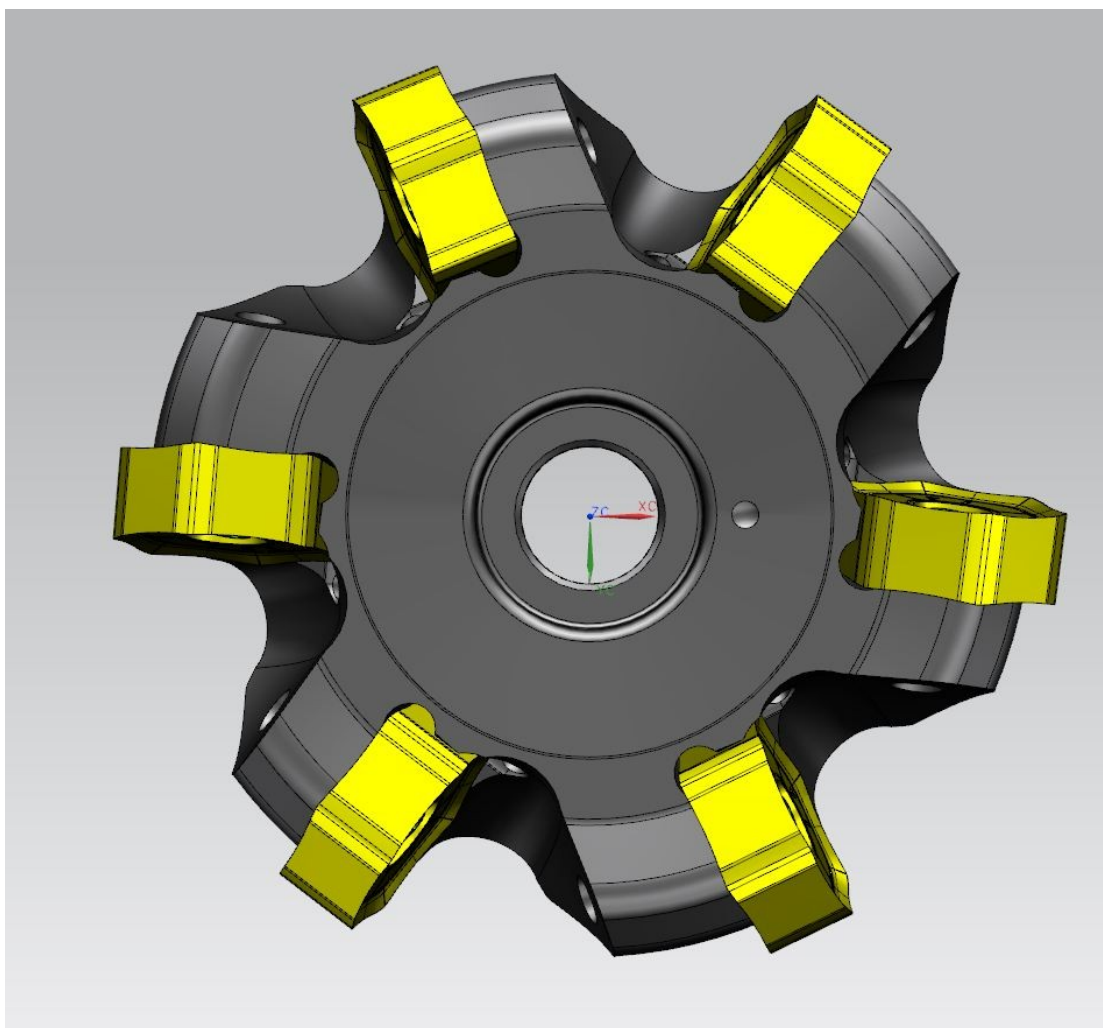
Experimentální část

4 Návrh prováděných zkoušek a metodiky zkoušení

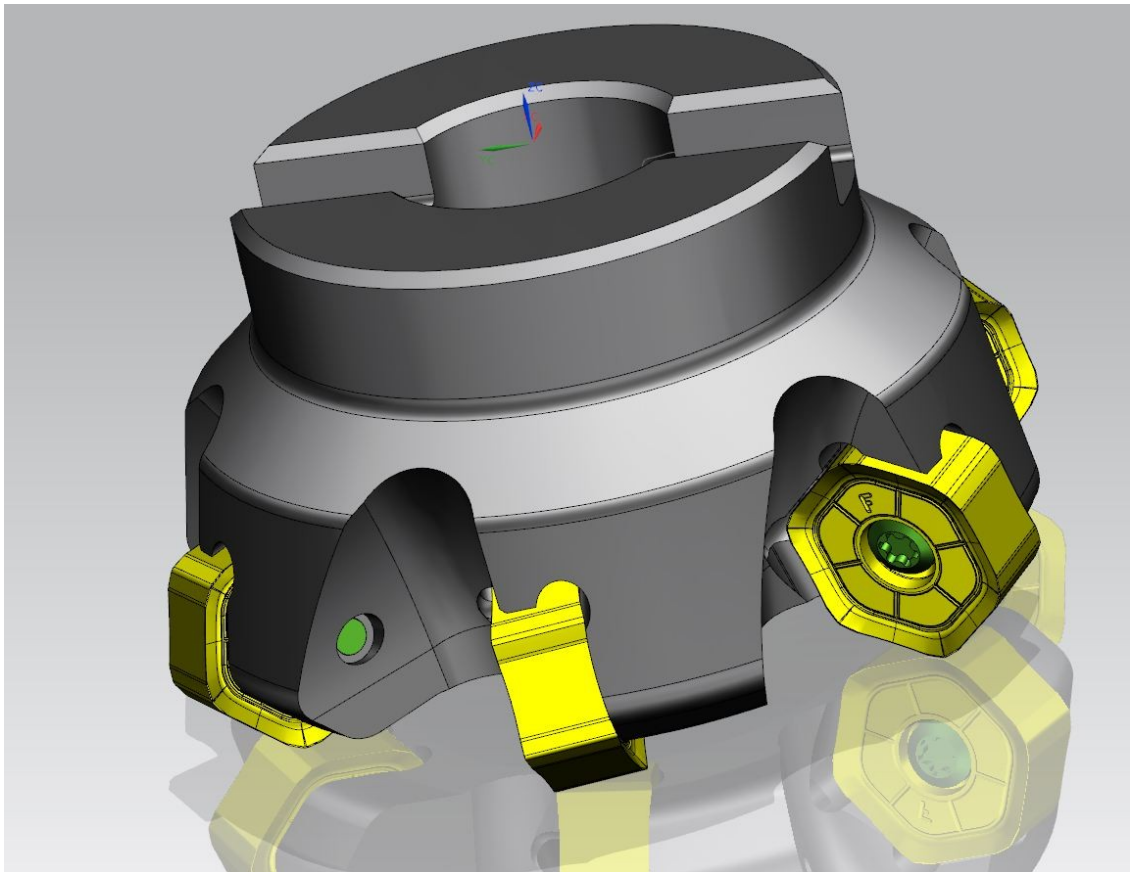
V praktické části budeme používat čelní frézu Ø63 se 6 zuby typ 63A06R-S45HN09C-C firmy Pramet Tools, s.r.o. (obr. 22, 23 a 24). Rozměry čelní frézy (obr. 25) a její řezná geometrie (obr. 26), kde γ_p úhel čela v rovině zadní, γ_f úhel čela v rovině boční, κ_r úhel nastavení a $a_{p \max}$ maximální hloubka řezu. VBD použité při experimentu HNGX 0906ANSN-R, XNGX 0906ANSN a XNGX 0906ANSN-P01 až P05 (obr. 20 a 21). Frézování probíhalo na obráběcím centru (obr. 27). Seřizování polohy a upínání VBD v čelní fríze probíhalo na ustavovacím zařízení BMD 465v (obr. 28 a 29) [7].

4.1 Nástroje a stroje použité při frézování pro experiment

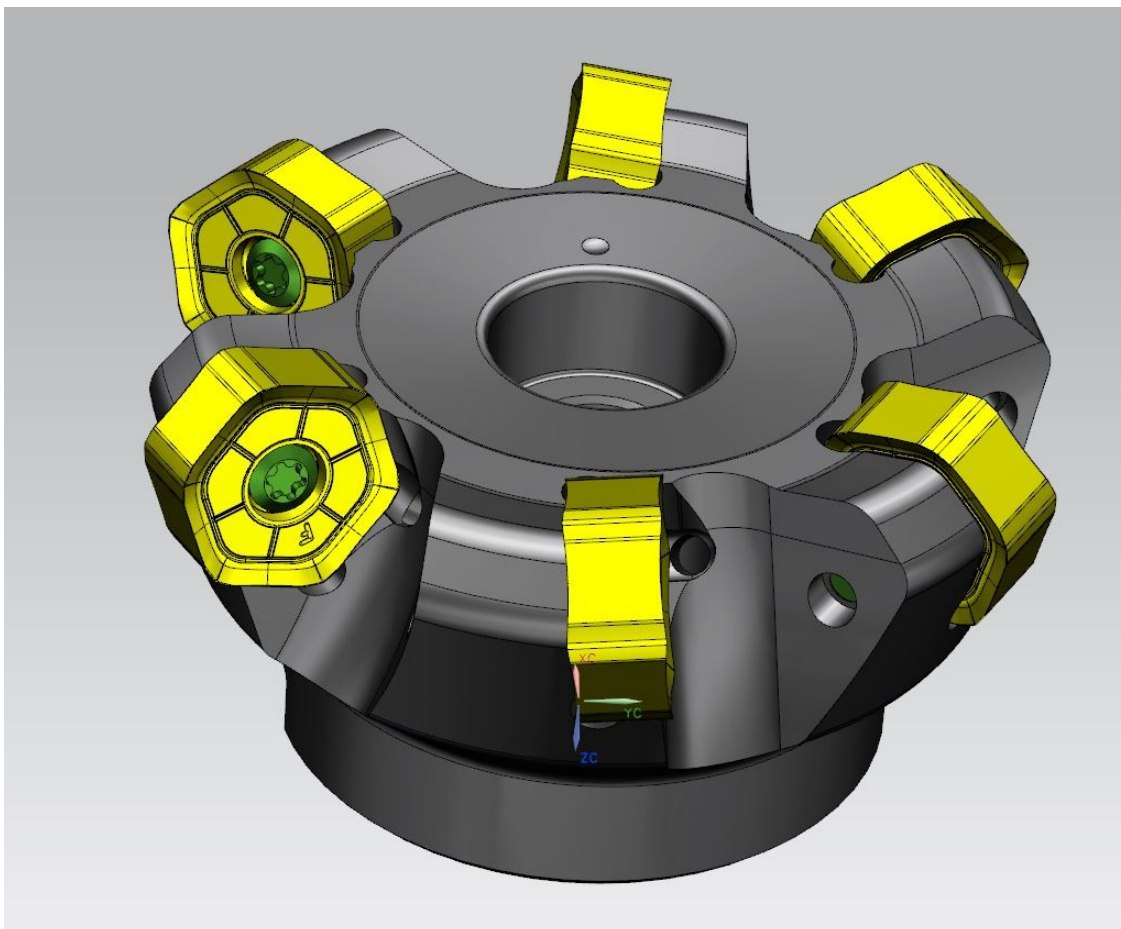
4.1.1 Čelní fréza Pramet Tools, s.r.o. typ 63A06R-S45HN09C-C

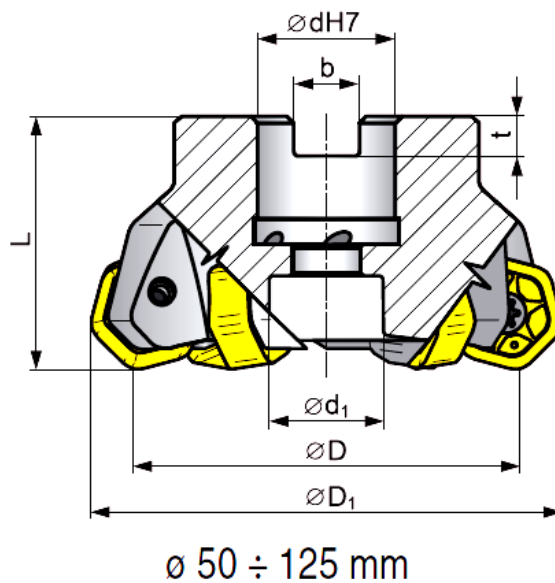


Obr. 22 Čelní fréza Pramet Tools, s.r.o. typ 63A06R-S45HN09C-C



Obr. 23, Obr. 24 Čelní fréza Pramet Tools, s.r.o. typ 63A06R-S45HN09C-C s destičkami HNGX 0906ANSN

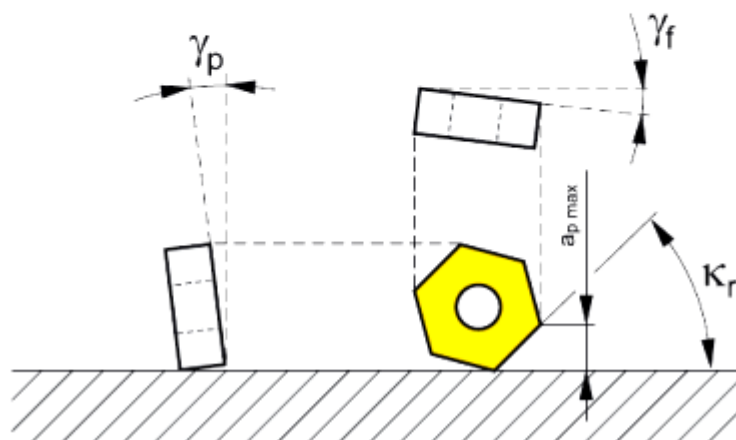




ISO	Sortiment	Rozměry / Rozmery												
		D	dH7	d _i	L	D _i	b	t	Z*	-	-	-	Chlazení Chladenie	[kg]
63A06R-S45HN09C-C	●	63	22	18,0	40	74,7	10,4	6,3	6				+	0,49

Obr. 25 Rozměry čelní frézy Pramet Tools, s.r.o. typ 63A06R-S45HN09C-C [7]

γ_p	$+7^\circ$	κ_r	45°
γ_f	$+7^\circ$	$a_{p \max}$	5 mm



Obr. 26 Řezná geometrie zvolené čelní frézy Pramet Tools, s.r.o. typ 63A06R-S45HN09C-C [7]

4.1.2 Vertikální obráběcí centrum MAS MCV 1270 Power



Obr. 27 Vertikální obráběcí centrum MAS MCV 1270 Power

Zkoušený materiál se obráběl na tomto obráběcím centru (obr. 27). Parametry stroje jsou uvedeny v tab. 2.

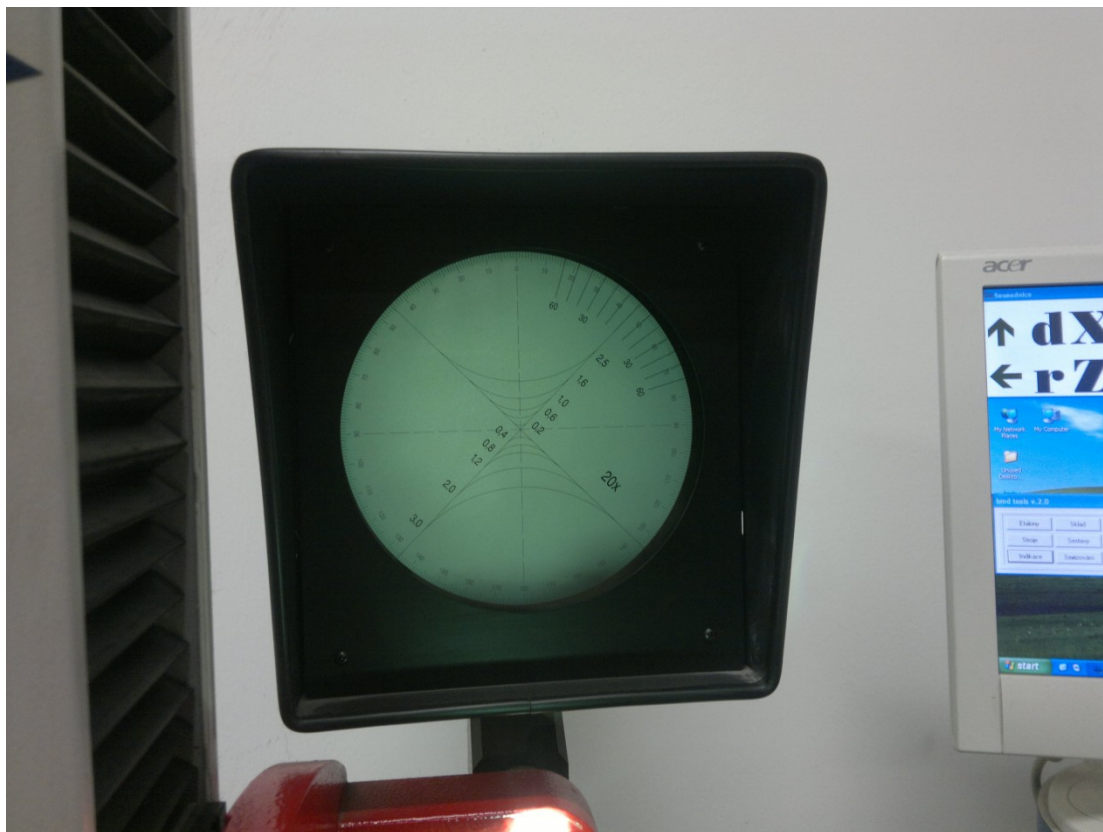
Tab. 2 Parametry stroje [6]

Výrobce	Kovosvit MAS
Typ	MCV 12070 Power
Výkon na vřetení	28 kW
Otáčky vřetene	8000 ot/min
Počet nástrojů	24
Řídicí systém	Heidenhain iTCN 530
Podélný pojezd X	1270 mm (50 in)
Příčný pojezd Y	610 mm (24 in)
Vertikální pojezd Z	720 mm (28,3 in)
Délka stolu	1500 mm (59,1 in)
Šířka stolu	670 mm (26,4 in)
Max. přípustná váha	1200 kg
Hmotnost stroje	10500 kg

4.1.3 Ustavovací zařízení BMD 465v



Obr. 28, Obr. 29 Ustavovací zařízení BMD 465v

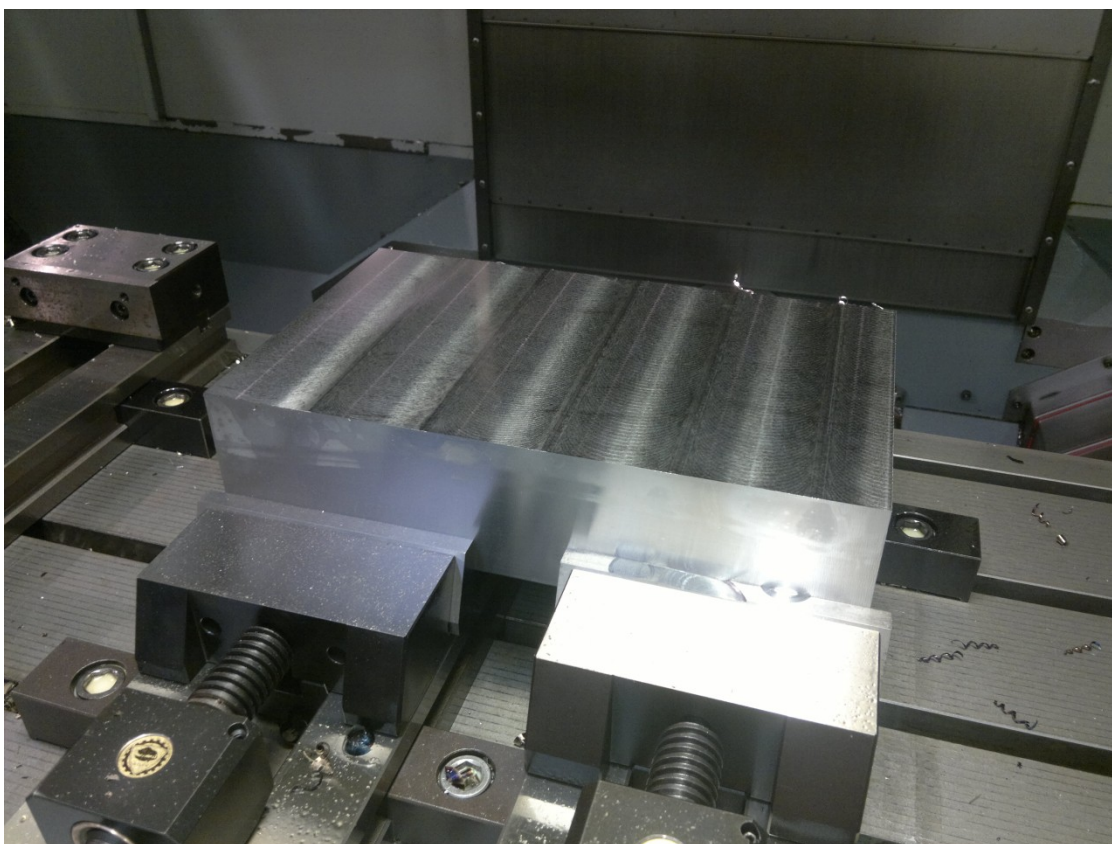


4.2 Návrh metodiky zkoušení

Měření drsnosti povrchu se provádělo ve firmě Pramet Tools, s.r.o. na zkušebně, kde se testují a zkouší různé typy nových VBD, čelních fréz, atd... a měření vnesených zbytkových povrchových napětí po obrábění vybraných druhů utvařečů třísky bylo provedeno v laboratoři Katedry mechanické technologie Fakulty strojní VŠB-TU Ostrava.

4.2.1 Zkušební vzorek a jeho specifikace

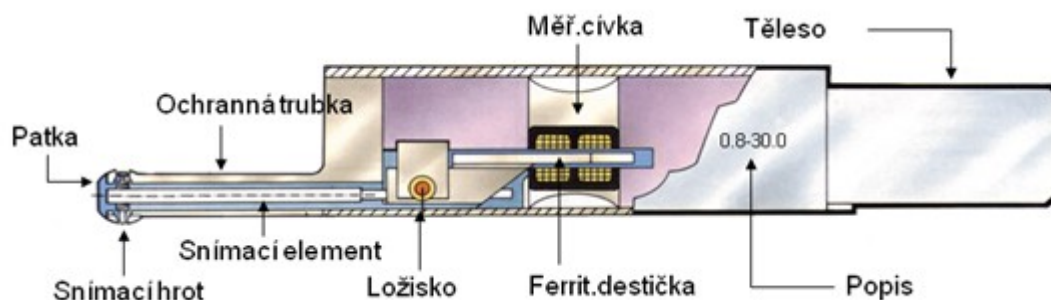
Použitý materiál v experimentu je 12050.1. Rozměry jsou 400x200x100 v mm (obr. 30). Tvrdost materiálu podle Brinella byla naměřena HB=200. Tvrdost byla měřena informativně na přístroji EQVOTIP proceq (obr. 31). Tato ocel má mez pevnosti R_m minimální = 530 MPa, mez kluzu $R_{e\min}$ = 305 MPa, tvrdost HB = max 225, třída odpadu je 002. Dále tato konstrukční ocel je nelegovaná k dalšímu zušlechťování a povrchovému kalení. K těmto procesům můžeme zařadit normalizační žíhání 840°C, žíhání na měkko 700°C a kalení ve vodě 820°C. Z této oceli se vyrábí hřídele turbokompresorů, těžních strojů a čerpadel, ozubená kola, šneky, klikové hřídele osobních automobilů a ojnice. Tuto ocel řadíme do třídy obrobiteľnosti 13b [9].



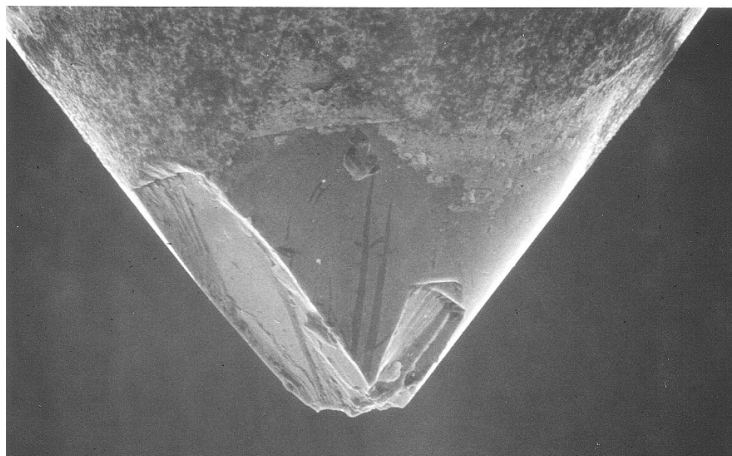
Obr. 30 Obráběný materiál upnutý ve svěráku

4.3 Zkouška měření drsnosti povrchu

Drsnost povrchu měříme drsnoměrem. Mezi hlavní komponenty tohoto přístroje patří snímací element, snímací hrot a převodník (obr. 31). Snímací hrot je často diamantový. Tento hrot se musí v pravidelných intervalech kontrolovat, abychom neměřili zkreslené informace. Při nevhodné manipulaci dochází k jeho vyštípnutí (obr. 32) [6].



Obr. 31 Řez drsnoměrem [6]



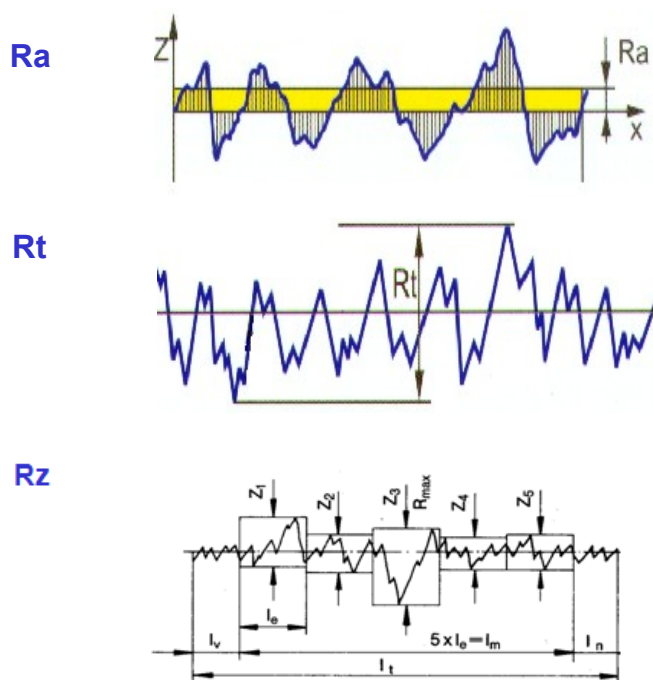
Obr. 32 Zvětšený pohled na vyštípnutý diamantový hrot [6]

K popisu technických povrchů slouží norma DIN EN 4287-1, kde jsou pojmy, definice a veličiny pro geometrické vlastnosti. Povrchy máme periodické nebo aperiodické. Mezi periodické povrchy řadíme soustružené, frézované apod. Pro správné měření drsnosti povrchu používáme filtry. Odseparování profilu drsnosti od primárního profilu použije filtr drsnosti. Dalším filtrem λ_c/λ_s eliminujeme krátkovlnná chvění z primárního P-profilu [6].

Další faktor, který výrazně ovlivní měření je délka měřené součástky. Je důležité pro získání dostatečného množství rýh a špiček měřit určitou délku [6].

Veličin drsnosti povrchu je velké množství, ale v technické praxi se používají jen nejvíce rozšířené. Můžeme je rozdělit dle ČSN EN ISO 4287 na výškové (amplitudové) a délkové (šířkové). Do vertikálních řadíme R_a , R_z a R_t , kde měříme výšku a hloubku rýh. Mezi vertikální řadíme R_{Pc} , R_{Sm} a R_{mr} . R_a představuje střední aritmetickou odchylku profilu od střední čáry, R_t je maximální (celková) výška profilu filtrovaného profilu

drsnosti povrchu a R_z rozumíme největší výšku profilu a je rozdělen na 5 stejných dílů, v každém dílu je změřena maximální hodnota a aritmetický průměr těchto hodnot je výsledná hodnota [6, 14].

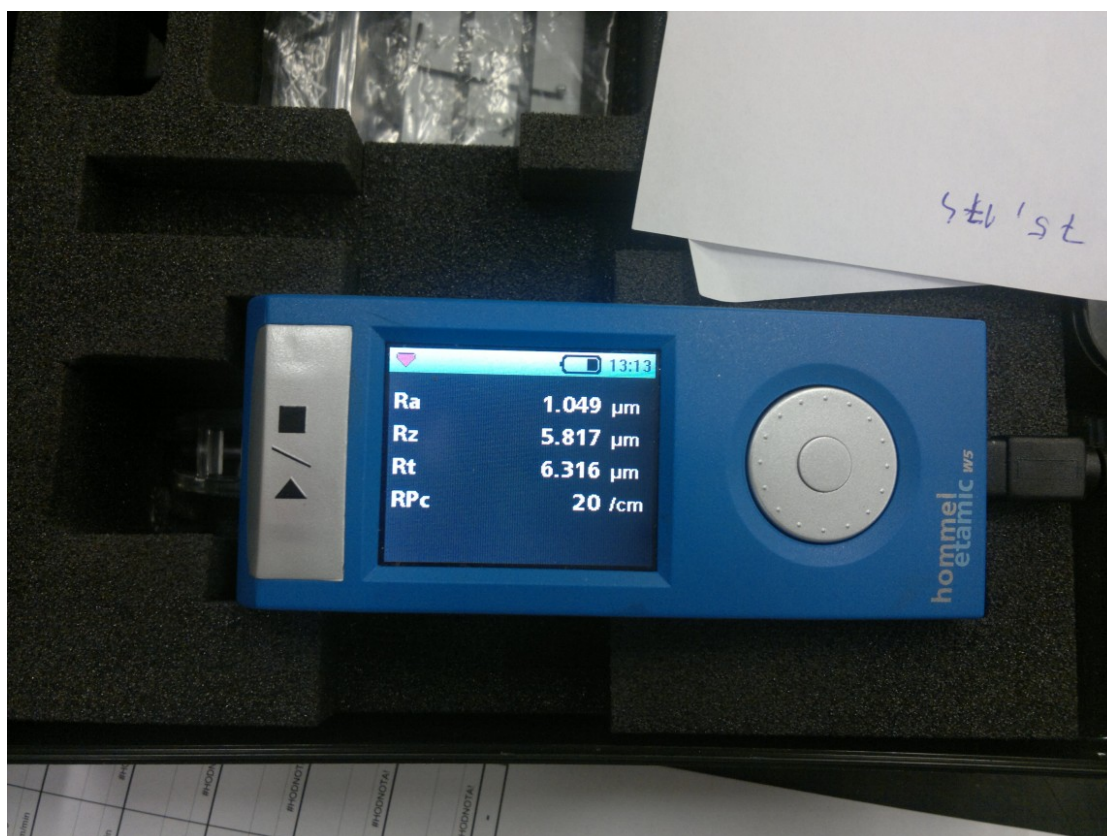


Obr. 33 Vybrané parametry drsnosti povrchu R_a , R_t a R_z [6]

4.3.1 Použité přístroje a software pro měření drsnosti povrchu



Obr. 34 Přístroj pro vyhodnocení drsnosti povrchu Homel tester T500



Obr. 35 Přístroj pro vyhodnocení drsnosti povrchu Homel etamic W5

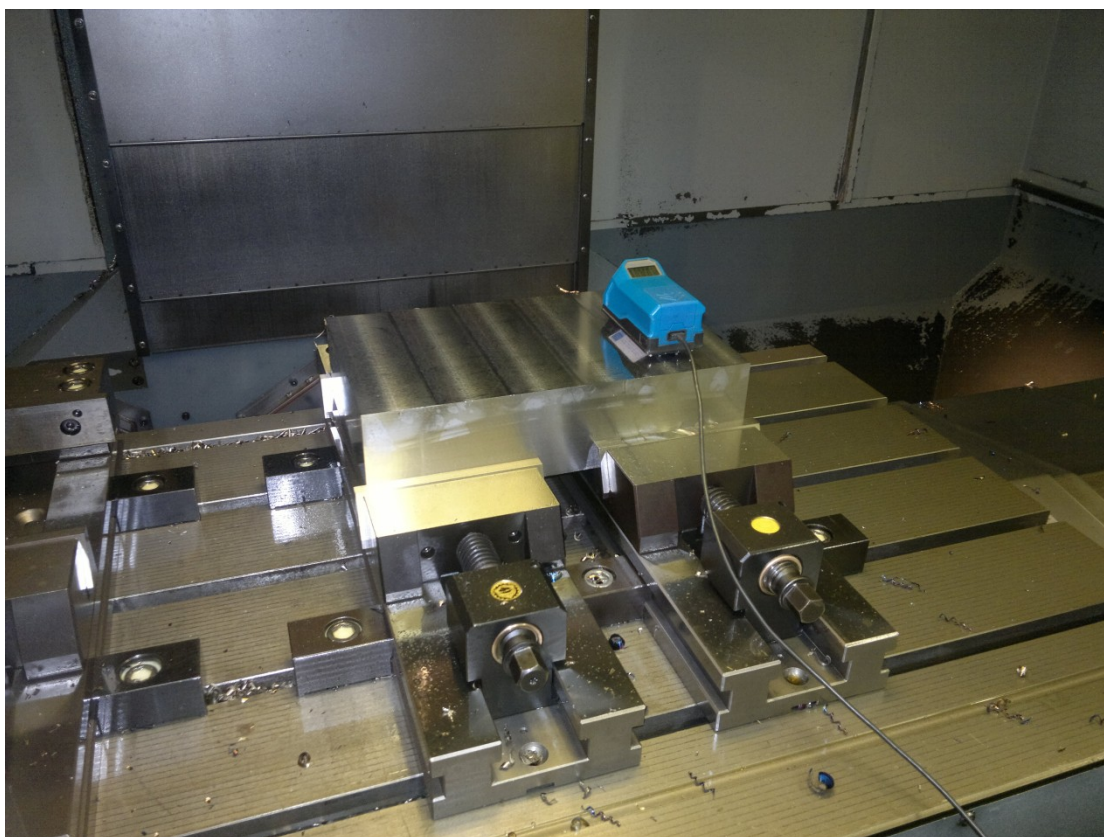


Obr. 36 Software pro vyhodnocení drsnosti Turbo Datawin-NT 1.48

4.3.2 Provedení zkoušky drsnosti povrchu při proměnném posuvu na zub f_z

Frézování probíhalo jedinou destičkou na obráběcím centru (obr. 27). Řezné podmínky nastaveny hloubka řezu $a_p = 0,1$ mm, posuv na zub f_z byl proměnný, řezná rychlost $v_c = 200$ m/min, $a_e = 60$ mm (tzv. funkční šířka, kde zabírala destička ve fréze) neboli radiální hloubka řezu, $n = 1011$ ot/min, bez chlazení. Délka hladícího břitu u XNGX 0906ANSN, XNGX 0906ANSN-P01 až P05 je 8,5 mm a HNGX 0906ANSN-R je 1,5 mm. Velikost měřené dráhy byla $L_t = 15$ mm.

Drsnost byla nejdřív změřena a vyhodnocena počítačem a poté se měřila jenom přístrojem. Frézovalo se 5 drah a každá dráha byla změřena. Nejdříve se prováděla počítačem měřená drsnost povrchu a vyhodnocovala v softwaru Turbo Datawin-NT 1.48 (obr. 36). Obsluha obráběcího centra posouvala přístroj na měření drsnosti Homel tester T500 (obr. 34) na každou z drah. Drsnost byla měřena na středu radiální hloubky řezu a_e (obr. 37). Poté se změřila drsnost přístrojem Homel etamic W5 (obr. 35) na středu a na kraji radiální hloubky řezu a_e bez vyhodnocení počítačem. Po změření se upnula do frézy další VBD, její upnutí se provádělo pro přesné ustavení na přístroji BMD 465v (obr. 28 a 29). Opět se vytvořilo 5 frézovaných drah.



Obr. 37 Měření drsnosti prováděné přístrojem Homel tester T500

4.3.3 Provedení zkoušky drsnosti povrchu při konstantním posuvu na zub f_z

Při tomto pokusu jsme volili posuv na zub $f_z = 0,5$ mm a ostatní řezné podmínky jsou stejné jako v předchozí zkoušce, kde jsme měřili funkční šířku a_e uprostřed. Pro tento pokus jsme zvolili tyto VBD XNGX 0906ANSN, XNGX 0906ANSN-P01(20°, R350), XNGX 0906ANSN-P02(20°, R184) a HNGX 0906ANSN-R z předchozího měření při proměnném posuvu na zub f_z . Měřili jsme drsnost přístrojem Homel tester T500. Poté se vzorek (obr. 38) rozdělí na 2 kusy a budou použity při pokusu pro měření vnesených zbytkových povrchových napětí po obrobení.



Obr. 38 Zkušební vzorek frézovaný 4 testovacími VBD

4.4 Zkouška měření vnesených zbytkových povrchových napětí po obrábění

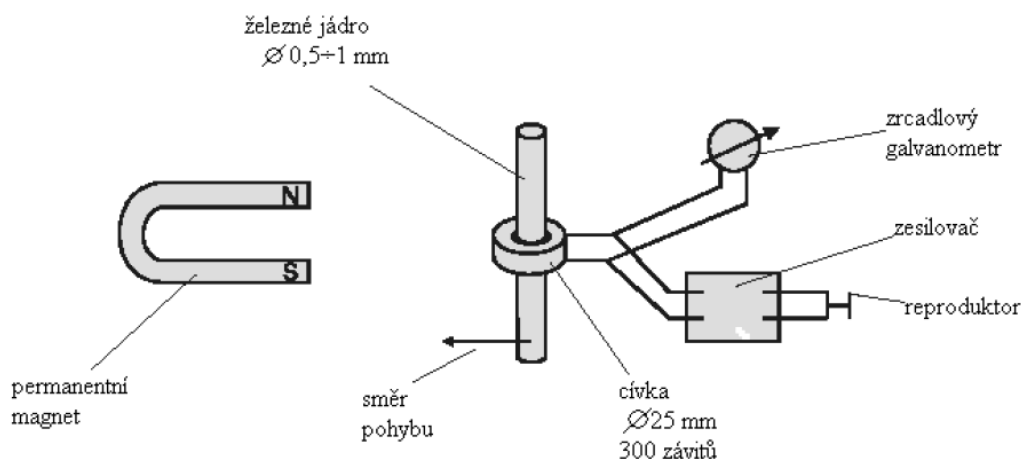
Zbytková povrchová napětí jsou projevem použitých technologií obrábění, které zůstávají v obrocích a různých konstrukcích po výrobním procesu a působí v obrobku i bez vnějšího působení sil. Zbytková povrchová napětí především ovlivňují funkčnost obrobených povrchů součástí. Tato napětí můžeme rozdělit dle příčiny na napětí tahová (+), napětí tlaková (-), vložena a vnitřní. Dále dle doby působení napětí okamžitá a trvalé.

A dle objemu, kde vnitřní napětí dosahují rovnováhy, zde patří napětí I. druhu zasahuje celým objem součásti. Napětí II. druhu má objem několika zrn a napětí III. druhu se projevuje v několika atomových vzdálenostech. V technické praxi se setkáváme nejvíce s napětím I. druhu [15].

Příčiny vytvoření zbytkových povrchových napětí je nerovnoměrná plastická deformace vyvolaná silovým účinkem řezného nástroje (klínu), nerovnoměrné teplotní činitele vcházející do obrobku (ohřev a ochlazení) a nerovnoměrné fázové transformace [15].

Měření zbytkových napětí se provádí v těsné blízkosti povrchu nebo celým průřezem součásti. Měřením je možné stanovit napjatost prostou, rovinou nebo prostorovou. Metody můžeme rozdělit na destruktivní, polodestruktivní a nedestruktivní. Nejvíce používané jsou rentgenová difrakce, magnetoelastická metoda a odvrtávací tenzometrická metoda. V této práci byla použita metoda nedestruktivní využívající Barkhausenův šum tzv. MBN [10, 11, 12 a 13].

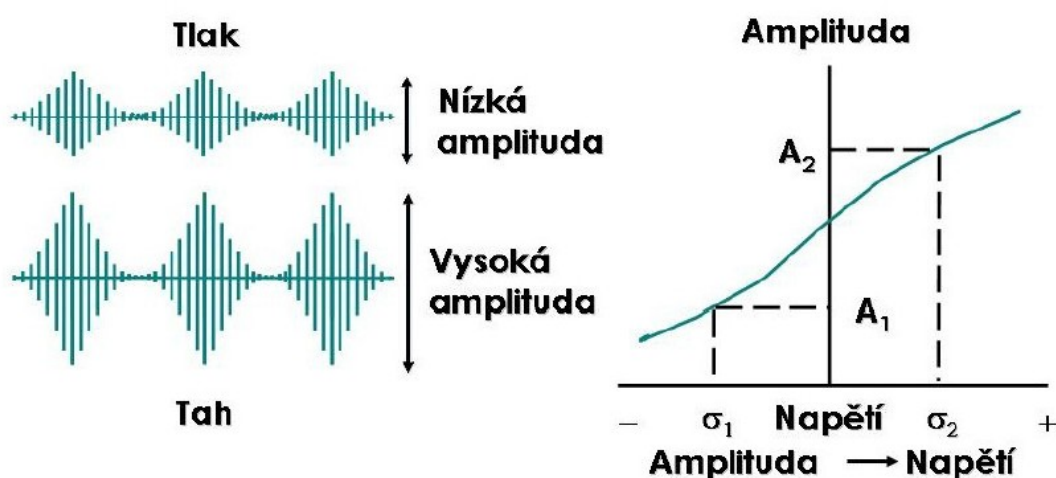
Princip této metody spočívá v přiblížení či oddálení magnetu od jádra, kde v reproduktoru dochází ke slyšitelnému praskání (obr. 39). Tento jev souvisí s nespojitostmi v procesu magnetizace feromagnetického materiálu. Postupem času se ukázalo, že efekt závisí na tvrdosti ocelového jádra v cívice tzn. s rostoucí tvrdostí materiálu intenzita praskání klesá [10, 11, 12 a 13].



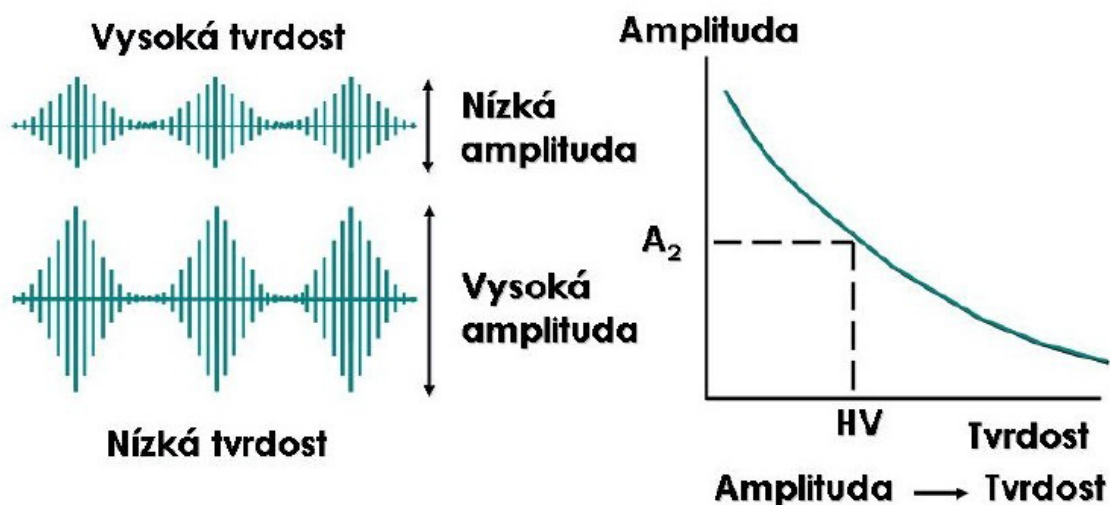
Obr. 39 Barkhausenovo původní uspořádání [10]

Feromagnetické materiály si můžeme představit jako materiály složené z menších oblastí magnetických, které nazýváme domény. Každá z těchto domén se magnetizuje podél krystalograficky vyznačených směrů. Jednotlivé domény jsou odděleny hranicemi respektive stěnami. Pohyby domén způsobují, že jedna doména se zvětší na úkor vedlejší domény. Cívka umístěná v blízkosti povrchu vzorku v době kdy se doménová stěna

pohybuje, tak změna magnetizace indukuje v cívce elektrický impuls. Řady těchto impulsů jsou monitorovány počítačem a zobrazeny v bodech spojené křivkou. Z křivky stanovíme zbytková napětí v povrchu materiálu. Frekvenční spektrum pro většinu materiálu 250kHz. Signál je exponenciálně tlumen v závislosti na vzdálenosti. Útlum určuje hloubku, ze které lze získat informaci. Hloubka se pohybuje kolem 0,01 až 1,5 mm. Faktory ovlivňující hloubku jsou frekvenční rozsah a vodivost spolu s permeabilitou (vliv prostředí na magnetické pole) zkoumaného materiálu. Vliv dynamických procesů jako tečení a únava materiálu se projevují jako změny v napětí a mikrostruktuře, proto mohou být monitorovány magnetoelasticky (obr. 40 a 41) [10, 11, 12 a 13].



Obr. 40 Vliv napětí na snímáný signál Barkhausenova šumu-MBN [10]



Obr. 41 Vliv tvrdosti na snímáný signál Barkhausenova šumu-MBN [10]

4.4.1 Použité přístroje a software pro měření zbytkových povrchových napětí po obrobení

Pro měření zbytkových povrchových napětí byl použit analyzátor MEB-2a a software MEB-2s (obr. 42). Dále snímač pro měření Barkhausenova šumu (obr. 43).



Obr. 42 Laboratorní pracoviště pro měření zbytkových napětí (Katedra mechanické technologie VŠB-TUO)

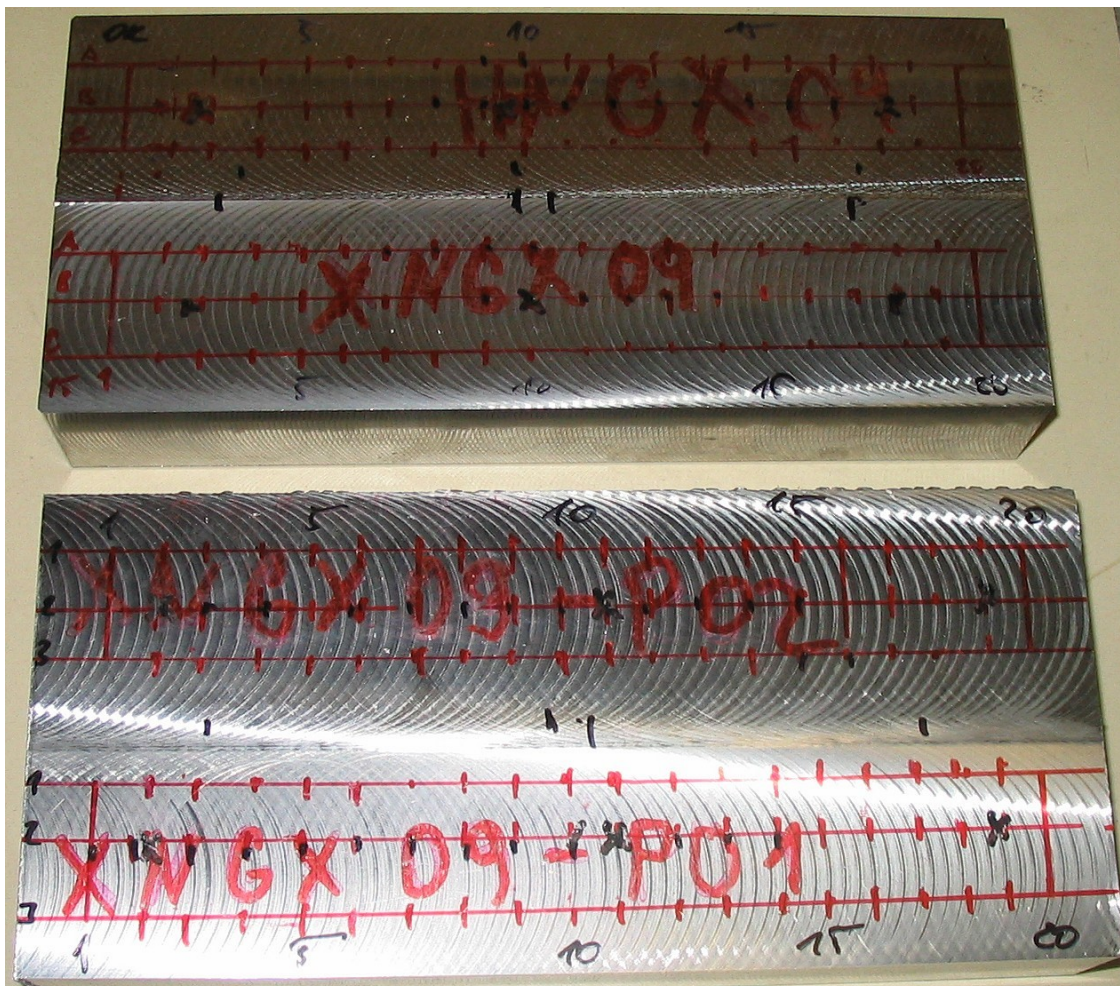


Obr. 43 Snímač SM1 první vlevo použitý pro měření Barkhausenova šumu

4.4.2 Provedení zkoušky pro měření zbytkových povrchových napětí po obrobení

Měření se provádělo v podélném směru a směru kolmém na tento směr pod supervizí Ing. Vladislava Ochodka (vladislav.ochodek@vsb.cz). Bylo provedeno ve statickém režimu ve třech směrech A, B a C s krokem 10 mm. Vzdálenost mezi směry byly rovněž

10 mm. Měření bylo prováděno na povrchu vzorků do hloubky 0,1 mm. Měřená oblast je ohraničena červeným fixem (obr. 44). S ohledem na relativně malé rozdíly v úrovni Barkhausenova šumu a zamezení ztráty informací nebyly hodnoty převedeny kalibrační křivkou na hodnoty napětí v MPa. Zbytkové napětí byly vyhodnoceny podle úrovně magnetického parametru MBN. Výsledné hodnoty měříme v milivoltech.



Obr. 44 Vzorek nachystaný pro měření zbytkových povrchových napětí metodou Barkhausenova šumu-MBN

4.5 Trvanlivost hladících VBD

Opotřebení hladících VBD nebylo měřeno, protože není předmětem zkoušek této DP. Po operaci frézování na hladících VBD bylo pod mikroskopem viditelné opotřebení, ale bylo velice malé, prakticky neměřitelné. V takto malém časovém intervalu při našem experimentu nedochází ke značnému opotřebení hladících VBD.

5 Výsledky experimentu

5.1 Zkouška měření drsnosti povrchu při proměnném posuvu na zub

 f_z

Tab. 3 Naměřené hodnoty parametru drsnosti Ra přístrojem Homel tester T500 změřené uprostřed radiální hloubky řezu a_c a vyhodnocené počítačem [6]

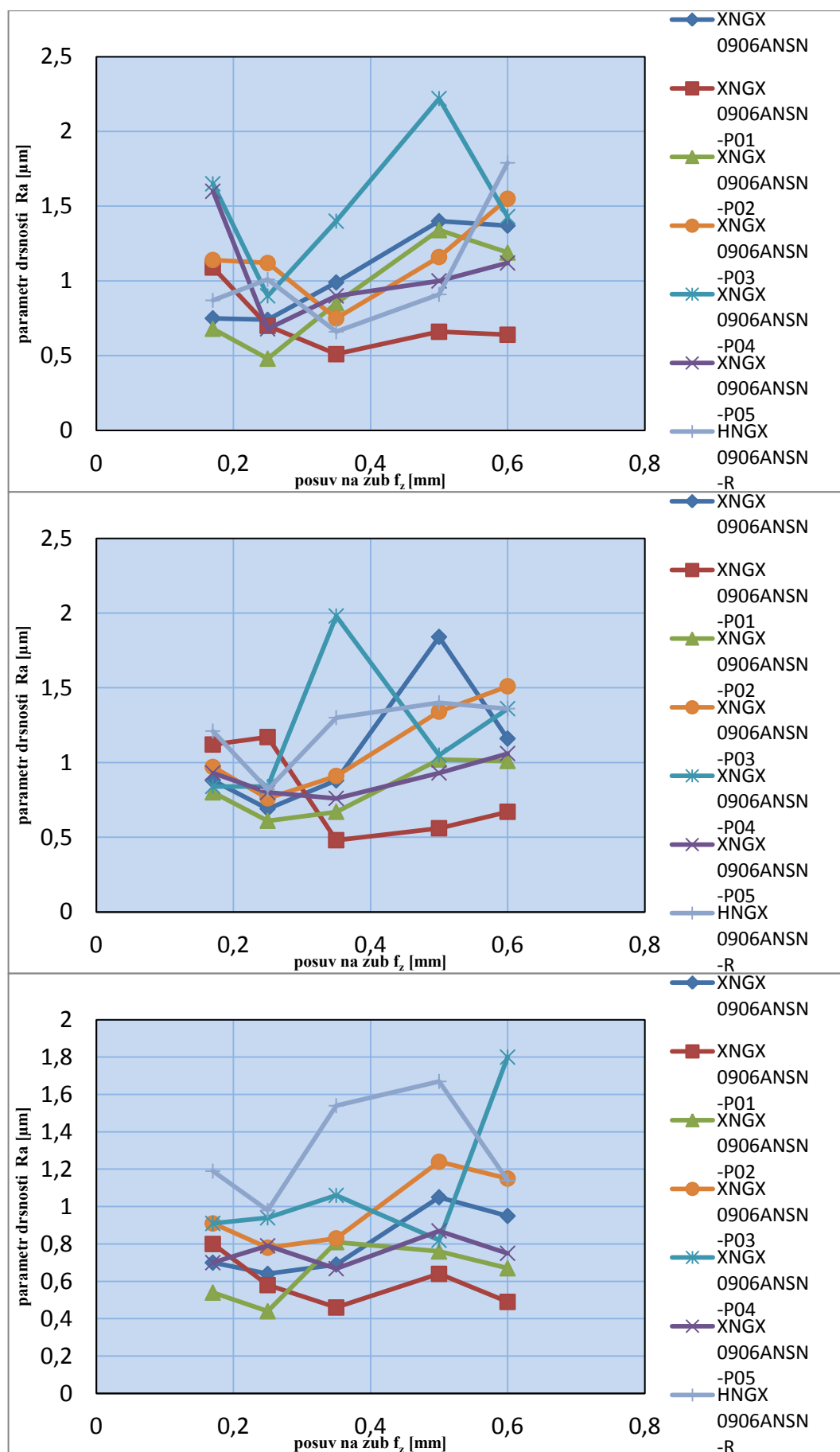
R/naklopení	VBD /posuv na zub f_z [mm]	0,17	0,25	0,35	0,5	0,6
184/0°	XNGX 0906ANSN	0,75	0,74	0,99	1,4	1,37
350/20'	XNGX 0906ANSN-P01	1,09	0,7	0,51	0,66	0,64
184/20'	XNGX 0906ANSN-P02	0,68	0,48	0,85	1,34	1,19
350/0°	XNGX 0906ANSN-P03	1,14	1,12	0,75	1,16	1,55
900/20'	XNGX 0906ANSN-P04	1,65	0,9	1,4	2,22	1,43
900/0°	XNGX 0906ANSN-P05	1,6	0,68	0,9	1	1,12
30/0°	HNGX 0906ANSN-R	0,87	1,01	0,66	0,91	1,79

Tab. 4 Naměřené hodnoty parametru drsnosti Ra přístrojem Homel etamic W5 změřené uprostřed radiální hloubky řezu a_c [6]

R/naklopení	VBD /posuv na zub f_z [mm]	0,17	0,25	0,35	0,5	0,6
184/0°	XNGX 0906ANSN	0,88	0,69	0,88	1,84	1,16
350/20'	XNGX 0906ANSN-P01	1,12	1,17	0,48	0,56	0,67
184/20'	XNGX 0906ANSN-P02	0,8	0,61	0,67	1,02	1,01
350/0°	XNGX 0906ANSN-P03	0,97	0,76	0,91	1,34	1,51
900/20'	XNGX 0906ANSN-P04	0,84	0,84	1,98	1,05	1,36
900/0°	XNGX 0906ANSN-P05	0,93	0,8	0,76	0,93	1,06
30/0°	HNGX 0906ANSN-R	1,21	0,82	1,3	1,4	1,36

Tab. 5 Naměřené hodnoty parametru drsnosti Ra přístrojem Homel etamic W5 změřené na kraji radiální hloubky řezu a_c [6]

R/naklopení	VBD /posuv na zub f_z [mm]	0,17	0,25	0,35	0,5	0,6
184/0°	XNGX 0906ANSN	0,7	0,64	0,69	1,05	0,95
350/20'	XNGX 0906ANSN-P01	0,8	0,58	0,46	0,64	0,49
184/20'	XNGX 0906ANSN-P02	0,54	0,44	0,81	0,76	0,67
350/0°	XNGX 0906ANSN-P03	0,91	0,78	0,83	1,24	1,15
900/20'	XNGX 0906ANSN-P04	0,91	0,94	1,06	0,82	1,8
900/0°	XNGX 0906ANSN-P05	0,7	0,79	0,668	0,87	0,75
30/0°	HNGX 0906ANSN-R	1,19	0,98	1,54	1,67	1,14



Obr. 45, Obr. 46 a Obr. 47 Grafy závislosti Ra na posuvu na zub f_z vyhodnocené počítačem uprostřed radiální hloubky řezu a_e a přístrojem Homel etamic W5 uprostřed a_e a na kraji radiální hloubky řezu a_e [6]

Tab. 6 Naměřené hodnoty parametru drsnosti Rz přístrojem Homel tester T500 změřené uprostřed radiální hloubky řezu a_e a vyhodnocené počítačem [6]

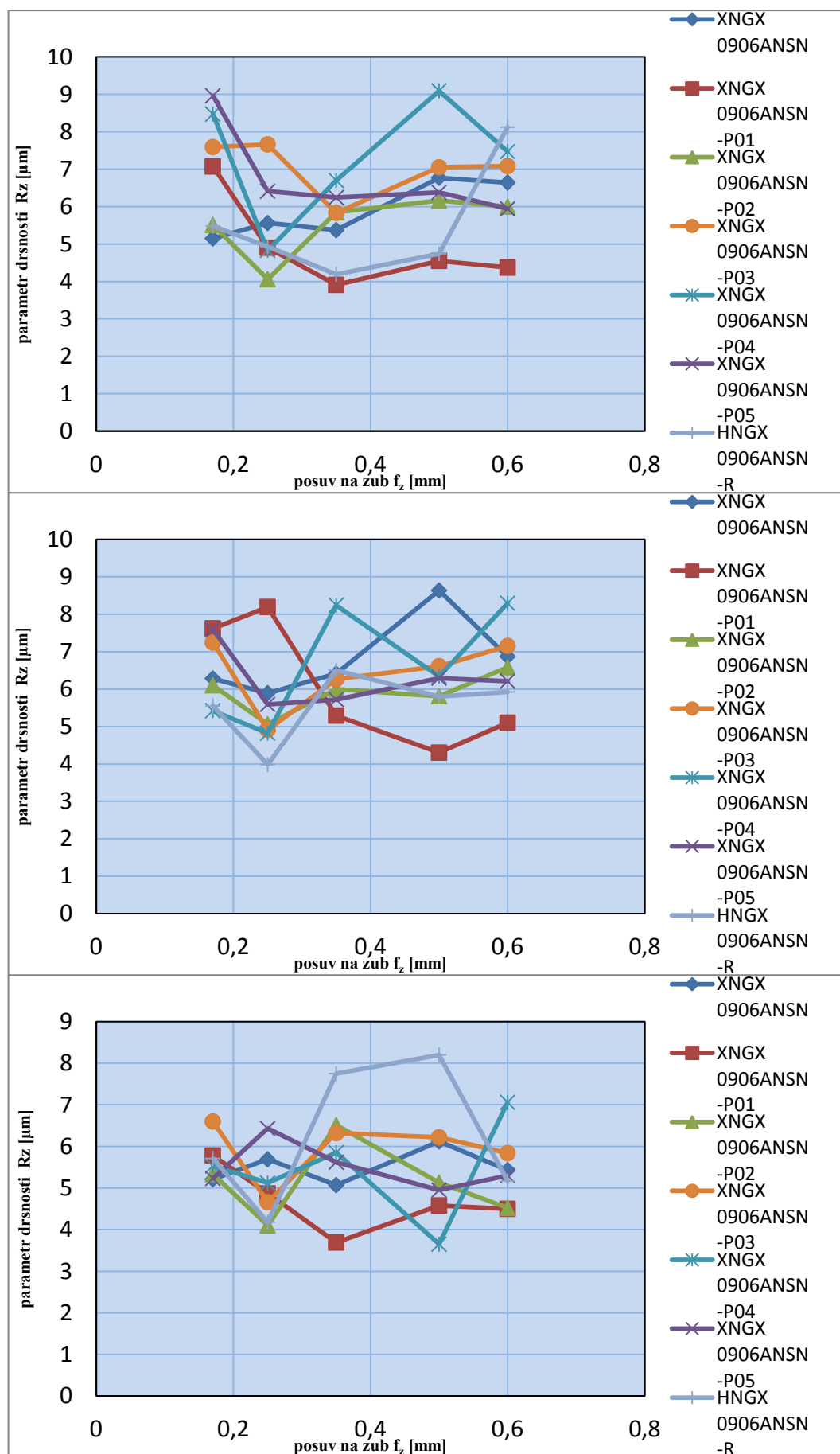
R/naklopení	VBD /posuv na zub f_z [mm]	0,17	0,25	0,35	0,5	0,6
184/0°	XNGX 0906ANSN	5,15	5,56	5,37	6,77	6,64
350/20'	XNGX 0906ANSN-P01	7,07	4,9	3,91	4,55	4,37
184/20'	XNGX 0906ANSN-P02	5,51	4,06	5,85	6,16	6
350/0°	XNGX 0906ANSN-P03	7,59	7,66	5,83	7,05	7,08
900/20'	XNGX 0906ANSN-P04	8,47	4,83	6,7	9,09	7,47
900/0°	XNGX 0906ANSN-P05	8,96	6,41	6,24	6,38	5,94
30/0°	HNGX 0906ANSN-R	5,48	4,93	4,19	4,74	8,12

Tab. 7 Naměřené hodnoty parametru drsnosti Rz přístrojem Homel etamic W5 změřené uprostřed radiální hloubky řezu a_e [6]

R/naklopení	VBD /posuv na zub f_z [mm]	0,17	0,25	0,35	0,5	0,6
184/0°	XNGX 0906ANSN	6,28	5,89	6,41	8,63	6,87
350/20'	XNGX 0906ANSN-P01	7,62	8,19	5,29	4,3	5,1
184/20'	XNGX 0906ANSN-P02	6,1	5,06	6	5,81	6,58
350/0°	XNGX 0906ANSN-P03	7,24	4,91	6,26	6,61	7,15
900/20'	XNGX 0906ANSN-P04	5,42	4,82	8,24	6,34	8,29
900/0°	XNGX 0906ANSN-P05	7,59	5,59	5,72	6,29	6,21
30/0°	HNGX 0906ANSN-R	5,55	3,98	6,5	5,8	5,92

Tab. 8 Naměřené hodnoty parametru drsnosti Rz přístrojem Homel etamic W5 změřené na kraji radiální hloubky řezu a_e [6]

R/naklopení	VBD /posuv na zub f_z [mm]	0,17	0,25	0,35	0,5	0,6
184/0°	XNGX 0906ANSN	5,21	5,69	5,07	6,12	5,43
350/20'	XNGX 0906ANSN-P01	5,78	4,87	3,69	4,58	4,5
184/20'	XNGX 0906ANSN-P02	5,33	4,1	6,51	5,13	4,52
350/0°	XNGX 0906ANSN-P03	6,6	4,66	6,32	6,22	5,84
900/20'	XNGX 0906ANSN-P04	5,53	5,12	5,85	3,65	7,06
900/0°	XNGX 0906ANSN-P05	5,23	6,43	5,62	4,95	5,3
30/0°	HNGX 0906ANSN-R	5,71	4,18	7,75	8,2	5,17



Obr. 48, Obr. 49 a Obr. 50 Grafy závislosti R_z na posuvu na zub f_z vyhodnocené počítačem uprostřed radiální hloubky řezu a_e a přístrojem Homel etamic W5 uprostřed a_e a na kraji radiální hloubky řezu a_e [6]

Tab. 9 Naměřené hodnoty parametru drsnosti R_t přístrojem Homel tester T500 změřené uprostřed radiální hloubky řezu a_e a vyhodnocené počítačem [6]

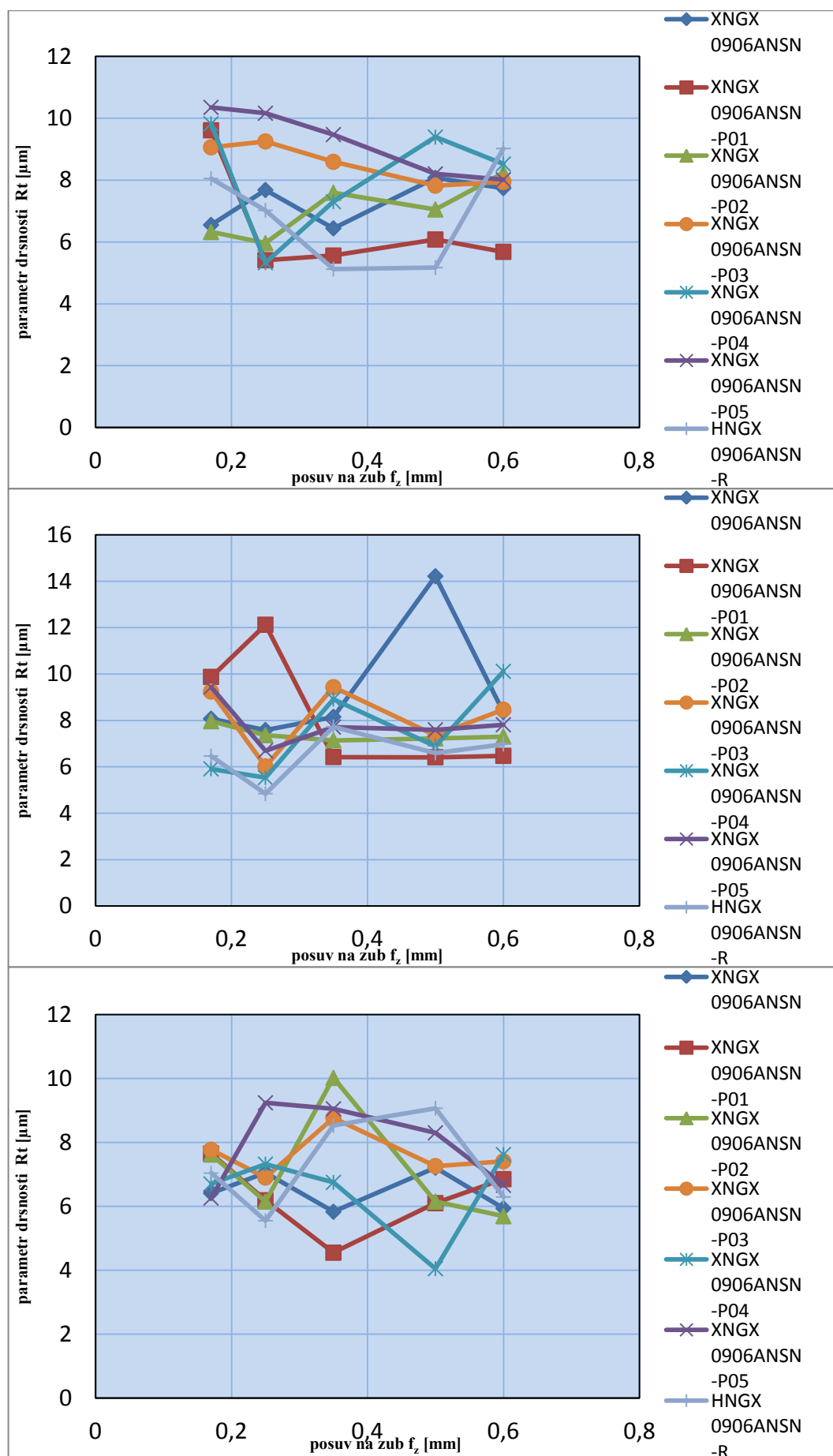
R/naklopení	VBD /posuv na zub f_z [mm]	0,17	0,25	0,35	0,5	0,6
184/0°	XNGX 0906ANSN	6,55	7,68	6,44	8,07	7,74
350/20'	XNGX 0906ANSN-P01	9,61	5,41	5,56	6,08	5,68
184/20'	XNGX 0906ANSN-P02	6,32	5,96	7,59	7,05	8,23
350/0°	XNGX 0906ANSN-P03	9,06	9,25	8,59	7,82	7,94
900/20'	XNGX 0906ANSN-P04	9,82	5,33	7,3	9,39	8,52
900/0°	XNGX 0906ANSN-P05	10,35	10,16	9,47	8,2	8,01
30/0°	HNGX 0906ANSN-R	8,05	7,02	5,12	5,17	9,02

Tab. 10 Naměřené hodnoty parametru drsnosti R_t přístrojem Homel etamic W5 změřené uprostřed radiální hloubky řezu a_e [6]

R/naklopení	VBD /posuv na zub f_z [mm]	0,17	0,25	0,35	0,5	0,6
184/0°	XNGX 0906ANSN	8,07	7,58	8,15	14,21	8,36
350/20'	XNGX 0906ANSN-P01	9,87	12,12	6,42	6,41	6,47
184/20'	XNGX 0906ANSN-P02	7,96	7,36	7,14	7,22	7,3
350/0°	XNGX 0906ANSN-P03	9,24	6,01	9,43	7,35	8,46
900/20'	XNGX 0906ANSN-P04	5,91	5,53	8,91	6,89	10,11
900/0°	XNGX 0906ANSN-P05	9,43	6,69	7,71	7,59	7,81
30/0°	HNGX 0906ANSN-R	6,46	4,84	7,72	6,59	6,97

Tab. 11 Naměřené hodnoty parametru drsnosti R_t přístrojem Homel etamic W5 změřené na kraji radiální hloubky řezu a_e [6]

R/naklopení	VBD /posuv na zub f_z [mm]	0,17	0,25	0,35	0,5	0,6
184/0°	XNGX 0906ANSN	6,41	7,05	5,83	7,21	5,94
350/20'	XNGX 0906ANSN-P01	7,65	6,19	4,55	6,1	6,85
184/20'	XNGX 0906ANSN-P02	7,62	6,15	10,02	6,15	5,69
350/0°	XNGX 0906ANSN-P03	7,77	6,9	8,77	7,26	7,41
900/20'	XNGX 0906ANSN-P04	6,7	7,32	6,75	4,05	7,62
900/0°	XNGX 0906ANSN-P05	6,26	9,24	9,05	8,3	6,66
30/0°	HNGX 0906ANSN-R	7,04	5,55	8,53	9,07	6,29



Obr. 51, Obr. 52 a Obr. 53 Grafy závislosti R_t na posuvu na zub f_z vyhodnocené počítačem uprostřed radiální hloubky řezu a_e a přístrojem Homel etamic W5 uprostřed a na kraji radiální hloubky řezu a_e [6]

5.2 Zkouška měření drsnosti povrchu při konstantním posuvu na zub

f_z

Tab. 12 Naměřené hodnoty parametru drsnosti R_a přístrojem Homel tester T500 změřené uprostřed radiální hloubky řezu a_e

R/naklopení	VBD /posuv na zub f_z [mm]				0,5	
184/0°	XNGX0906ANSN				1,11	
350/20'	XNGX0906ANSN-P01				1,09	
184/20'	XNGX0906ANSN-P02				1,03	
30/0°	HNGX0906ANSN-R				0,73	

Tab. 13 Naměřené hodnoty parametru drsnosti R_z přístrojem Homel tester T500 změřené uprostřed radiální hloubky řezu a_e

R/naklopení	VBD /posuv na zub f_z [mm]				0,5	
184/0°	XNGX0906ANSN				4,96	
350/20'	XNGX0906ANSN-P01				7,14	
184/20'	XNGX0906ANSN-P02				5,42	
30/0°	HNGX0906ANSN-R				3,98	

Tab. 14 Naměřené hodnoty parametru drsnosti R_t přístrojem Homel tester T500 změřené uprostřed radiální hloubky řezu a_e

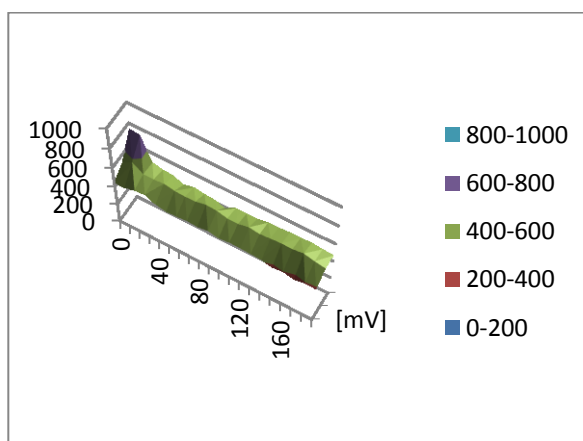
R/naklopení	VBD /posuv na zub f_z [mm]				0,5	
184/0°	XNGX0906ANSN				5,58	
350/20'	XNGX0906ANSN-P01				8,08	
184/20'	XNGX0906ANSN-P02				6,27	
30/0°	HNGX0906ANSN-R				5,48	

5.3 Zkouška měření vnesených zbytkových povrchových napětí po obrábění

Pro tuto zkoušku jsme zvolili tyto VBD XNGX 0906ANSN, XNGX 0906ANSN-P01(20°, R350), XNGX 0906ANSN-P02(20°, R184) a HNGX 0906ANSN-R.

Tab. 15 a 16 Výsledky naměřených hodnot povrchových napětí XNGX 0906ANSN

Směr podél vzorku					Směr kolmo na vzorek				
měření	MBN	A [mV]	B [mV]	C [mV]	měření	MBN	A [mV]	B [mV]	C [mV]
1	0	442	527	741	1	0	437	601	426
2	10	441	583	732	2	10	506	581	414
3	20	472	509	497	3	20	477	599	430
4	30	481	507	476	4	30	469	551	436
5	40	430	517	465	5	40	435	531	417
6	50	406	497	423	6	50	412	515	407
7	60	411	490	450	7	60	452	536	430
8	70	422	495	434	8	70	417	535	423
9	80	414	518	424	9	80	423	486	429
10	90	429	511	396	10	90	468	548	401
11	100	408	484	452	11	100	432	518	414
12	110	419	482	448	12	110	430	500	434
13	120	419	506	448	13	120	474	521	423
14	130	412	490	468	14	130	483	506	428
15	140	407	500	471	15	140	454	499	439
16	150	386	508	479	16	150	457	546	440
17	160	398	505	479	17	160	507	505	421
18	170	374	520	486	18	170	478	500	430
19	180	396	493	474	19	180	472	521	418
20	200	390	476	467	20	200	468	528	346
aritmetický průměr		418	506	486	aritmetický průměr		458	531	420



Obr. 54 Graf závislosti měřené oblasti na povrchovém napětí XNGX 0906ANSN měřeném podél směru vzorku

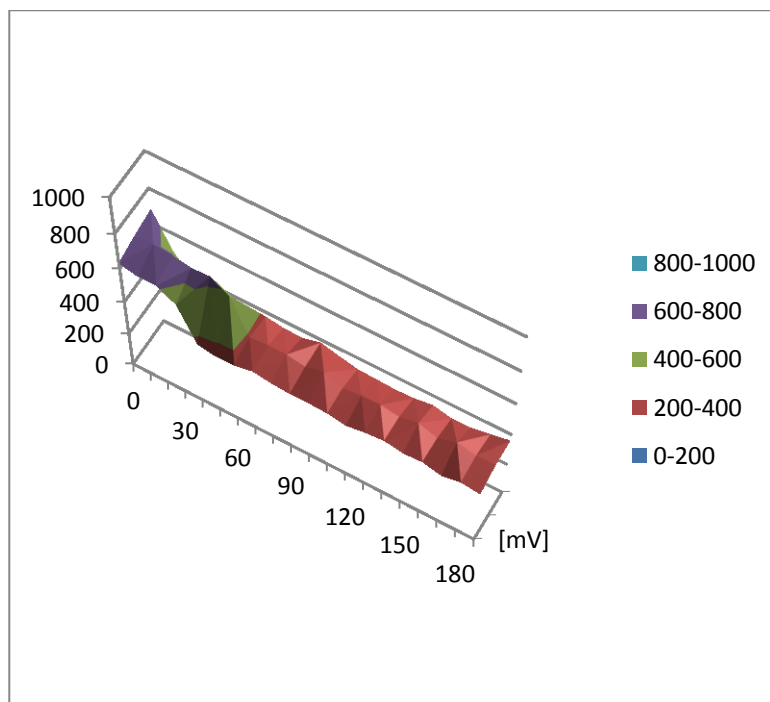
Tab. 17 a 18 Výsledky naměřených hodnot povrchových napětí XNGX 0906ANSN-P01

Směr podél vzorku

Směr kolmo na
vzorek

		A	B	C
měření	MBN	[mV]	[mV]	[mV]
1	0	632	661	682
2	10	610	665	493
3	20	611	655	377
4	30	553	633	386
5	40	367	638	385
6	50	348	578	354
7	60	350	383	370
8	70	373	390	354
9	80	357	391	350
10	90	350	373	379
11	100	351	400	352
12	110	346	356	328
13	120	328	369	323
14	130	346	372	318
15	140	356	356	322
16	150	337	378	339
17	160	344	343	314
18	170	318	379	316
19	180	339	355	336
20	200	326	359	359
aritmetický průměr		397	452	372

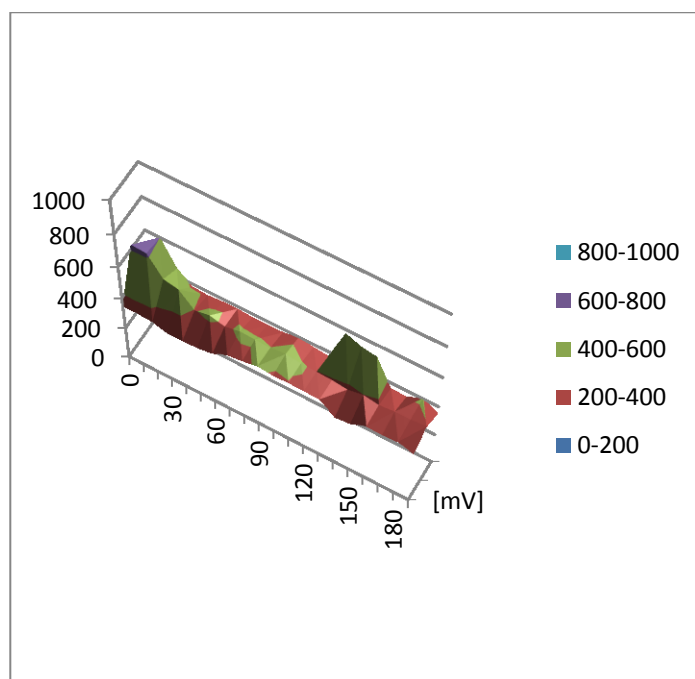
		A	B	C
měření	MBN	[mV]	[mV]	[mV]
1	0	312	397	315
2	10	342	394	328
3	20	343	387	311
4	30	309	384	302
5	40	337	330	288
6	50	282	345	300
7	60	284	328	274
8	70	284	339	279
9	80	281	333	290
10	90	291	319	285
11	100	299	352	323
12	110	294	354	312
13	120	299	353	300
14	130	279	328	290
15	140	292	357	281
16	150	290	344	295
17	160	308	374	281
18	170	297	361	272
19	180	290	365	306
20	200	294	343	309
aritmetický průměr		300	354	297



Obr. 55 Graf závislosti měřené oblasti na povrchovém napětí XNGX 0906ANSN-P01 měřeném podél směru vzorku

Tab. 19 a 20 Výsledky naměřených hodnot povrchových napětí XNGX 0906ANSN-P02

Směr podél vzorku					Směr kolmo na vzorek				
		A	B	C			A	B	C
měření	MBN	[mV]	[mV]	[mV]	měření	MBN	[mV]	[mV]	[mV]
1	0	350	623	379	1	0	362	475	423
2	10	350	617	599	2	10	363	519	436
3	20	344	503	452	3	20	355	463	410
4	30	318	483	381	4	30	347	463	408
5	40	319	397	374	5	40	371	412	421
6	50	321	414	381	6	50	336	474	428
7	60	336	390	384	7	60	337	458	387
8	70	378	408	375	8	70	345	451	370
9	80	389	406	375	9	80	337	452	374
10	90	407	401	378	10	90	357	454	357
11	100	397	412	392	11	100	336	400	364
12	110	399	402	381	12	110	329	421	364
13	120	397	397	370	13	120	344	430	361
14	130	394	393	574	14	130	338	423	363
15	140	323	381	538	15	140	313	429	335
16	150	333	399	523	16	150	310	424	350
17	160	372	383	364	17	160	317	434	343
18	170	366	392	359	18	170	337	438	344
19	180	374	392	403	19	180	310	451	366
20	200	344	399	353	20	200	317	390	337
aritmetický průměr		361	430	417	aritmetický průměr		338	443	377



Obr. 56 Graf závislosti měřené oblasti na povrchovém napětí XNGX 0906ANSN-P02 měřeném podél směru vzorku

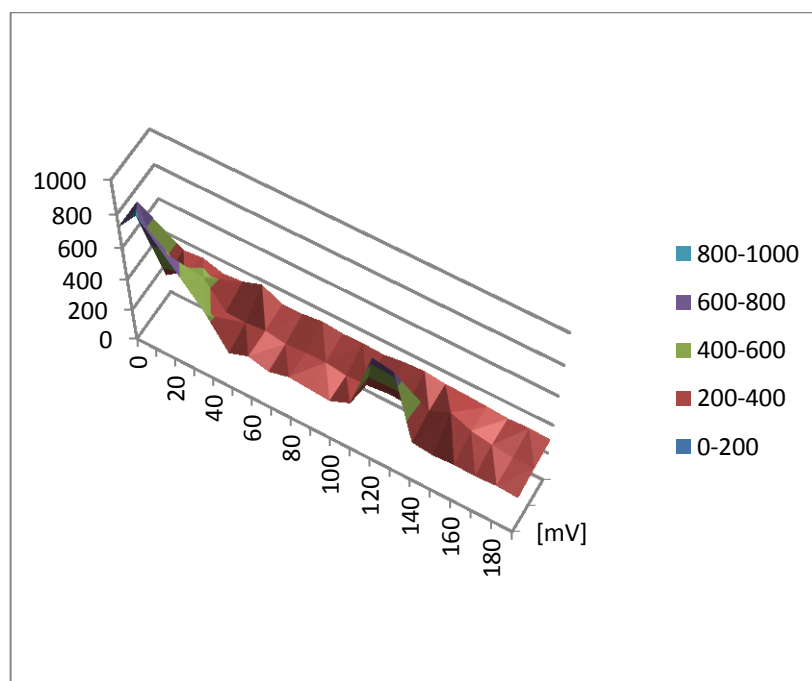
Tab. 21 a 22 Výsledky naměřených hodnot povrchových napětí HNGX 0906ANSN-R

Směr podél vzorku

		A	B	C
měření	MBN	[mV]	[mV]	[mV]
1	0	728	730	310
2	10	858	337	339
3	20	715	421	352
4	30	579	448	314
5	40	434	288	326
6	50	247	283	370
7	60	294	297	308
8	70	259	276	309
9	80	293	286	325
10	90	283	288	312
11	100	272	268	314
12	110	328	275	308
13	120	703	291	326
14	130	680	288	334
15	140	275	312	318
16	150	259	375	314
17	160	268	321	306
18	170	263	297	296
19	180	272	283	303
20	200	263	284	297
aritmetický průměr		414	332	319

Směr kolmo na vzorek

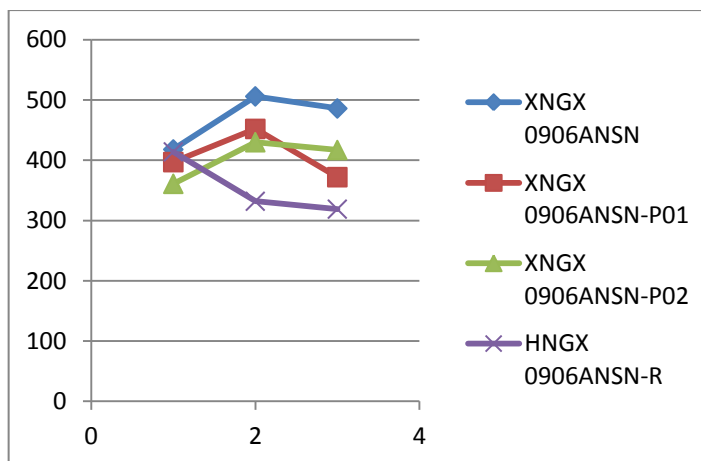
		A	B	C
měření	MBN	[mV]	[mV]	[mV]
1	0	543	489	497
2	10	523	534	457
3	20	528	510	421
4	30	498	493	377
5	40	494	519	384
6	50	511	508	352
7	60	508	474	457
8	70	508	477	399
9	80	506	481	362
10	90	534	434	350
11	100	550	484	404
12	110	522	479	372
13	120	511	477	353
14	130	541	465	381
15	140	530	461	350
16	150	509	481	333
17	160	564	470	303
18	170	550	523	332
19	180	541	468	346
20	200	526	506	310
aritmetický průměr		525	487	377



Obr. 57 Graf závislosti měřené oblasti na povrchovém napětí HNGX 0906ANSN-R měřeném podél směru vzorku

Tab. 23 Hodnoty aritmetických průměrů povrchových napětí v podélném směru

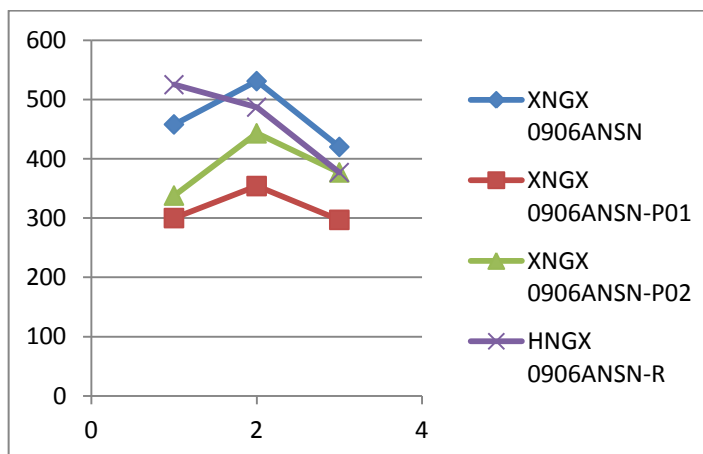
	A [mV]	B [mV]	C [mV]
XNGX 0906ANSN	418	506	486
XNGX 0906ANSN-P01	397	452	372
XNGX 0906ANSN-P02	361	430	417
HNGX 0906ANSN-R	414	332	319



Obr. 58 Graf závislosti hodnot aritmetických průměrů povrchových napětí v podélném směru

Tab. 24 Hodnoty aritmetických průměrů povrchových napětí v kolmém směru

	A [mV]	B [mV]	C [mV]
XNGX 0906ANSN	458	531	420
XNGX 0906ANSN-P01	300	354	297
XNGX 0906ANSN-P02	338	443	377
HNGX 0906ANSN-R	525	487	377



Obr. 59 Graf závislosti hodnot aritmetických průměrů povrchových napětí v kolmém směru

6 Vyhodnocování výsledků a závěr

Pro zkoušku drsnosti povrchu parametru R_a při proměnném posuvu na zub f_z jsme nastavili smluvní hranici $R_a = 0,8 \mu\text{m}$.

Vzhledem k výsledkům nejlépe vyhovují hladicí VBD XNGX 0906ANSN-P01 a XNGX 0906ANSN-P02. Největší výkyvy parametru drsnosti R_a byly u hladicí VBD XNGX 0906ANSN-P04.

Pro zkoušku drsnosti povrchu parametru R_z při proměnném posuvu na zub f_z jsme stanovili smluvní hranici $R_z = 6 \mu\text{m}$. Těmto

výsledkům se nejvíce přibližovala hladicí VBD XNGX 0906ANSN-P01 a XNGX 0906ANSN-P02. Nejhuře dopadla VBD XNGX 0906ANSN-P04.

Pro zkoušku drsnosti povrchu parametru R_t při proměnném posuvu na zub f_z jsme nastavili smluvní hranici $R_t = 6 \mu\text{m}$.

Nejvhodnějších výsledků dosahovala hladicí VBD XNGX 0906ANSN-P01 a XNGX 0906ANSN-P02. Nevhodných výsledků dosahovala VBD XNGX 0906ANSN-P05.

Měření drsnosti povrchu při konstantním posuvu na zub f_z je spíše informativního charakteru.

Při celkovém hodnocení zkoušek drsnosti povrchu při proměnném posuvu na zub f_z by nejlépe vyhovovala hladicí VBD XNGX 0906ANSN-P01, která má rádius 350 mm a úhel naklonění 20° na hladicím břitu a VBD XNGX 0906ANSN-P02, která má rádius 184 mm a úhel naklonění 20° na hladicím břitu. VBD XNGX 0906ANSN-P03, která má rádius 350 a úhel natočení 0° spolu s HGNX 0906ANSN-R, která má rádius 30 a úhel natočení 0° vykazovali velké skoky. Nejhorší z porovnávaných hladicích VBD při zkoušce drsnosti povrchu dopadla XNGX 0906ANSN-P04, která má rádius 900 mm a úhel naklonění 20° na hladicím břitu.

U zkoušek měření zbytkového povrchového napětí po obrobení vzorky VBD XNGX 0906ANSN, XNGX 0906ANSN-P01 a XNGX 0906ANSN-P02 vykazují, že naměřené hodnoty jsou podobné v podélném a kolmém směru. Nejvíce se odlišující je HGNX 0906ANSN-R. Z vyhodnocených grafů je na začátku viditelný skok, který je možný při větších posuvech na zub f_z než začala čelní fréza obrábět celým průměrem. Čelní fréza se mohla odtlačovat kvůli rozložení sil. Další příčina by mohla být ve vůli v ložiscích na vřetení a mohlo dojít k naklonění. Z posledních dvou grafů je patrné, že hodnoty zbytkových povrchových napětí v povrchu XNGX 0906ANSN-P02 jsou téměř shodné, takže zbytkové napětí v povrchu obrobku je rovnoměrně rozloženo.

Ze dvou provedených zkoušek je patrné, že nejlépe zvoleným kritériím vyhovuje XNGX 0906ANSN-P02, která má rádius 180 mm a úhel naklopení 20' na hladícím břitě. Doporučení pro konstrukci řezné geometrie hladících VBD, kde rádius hladícího břitu volit v rozmezí od 180 do 350 mm a naklopení by nemělo být nulové.

7 Seznam použité literatury

- [1] STOPL, O., *Vliv technologie výroby na užité vlastnosti dokončovací VBD*. 2009. 48s. Fakulta strojní.
- [2] Grumant [online] < http://www.grumant.cz/data/1233916128312Grumant_12.pdf>.
- [3] MMspectrum [online]. VESELÝ, M., KOUŘIL, M.< <http://www.mmspektrum.com/clanek/vykonne-nastroje-pro-frezovani.html>>.
- [4] SANDVIK COROMANT [online]< http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/face_milling/finishing_with_wiper_inserts/Pages/default.aspx#4>.
- [5] PAVELKA, R., *Analýza vyměnitelných břitových destiček ze slinutých karbidů*. 2010. 110s. Fakulta strojního inženýrství.
- [6] VNITŘNÍ PŘEDPISY A NAŘÍZENÍ PRAMET TOOLS, S.R.O
- [7] PRAMET TOOLS, S.R.O. [i]Frézování[/i], Šumperk: Pramet Tools, s.r.o., 2012, 316 s.
- [8] MMspectrum [online] <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nove-nastroje-a-rezne-materialy-pro-soustruzeni-a-frezovani.html>>.
- [9] Leinveber, J., Vávra, P., *Strojnické tabulky*. 2006. 914s. ISBN 80-7361-033-7
- [10] TITTO, S. *Magnetic Methods. Handbook of Measurements of Residual Stresses*; J.Lu (ed.) Society For Experimental Mechanics; The Fairmont Press Inc Lilburn (1996), p. 179-224.
- [11] Neslušan, M., Rosípal, M., Kolařík, K., Ochodek, V. *Application of Barkhausen Noise for Analysis of Surface Integrity after Hard Turning*. In. Manufacturing Technology, vol. 12, 2012, ISSN 1213-2489

[12] OCHODEK, V. *Residual stress evaluation in spirally welded pipes for gas pipeline. Residual stress evaluation in spirally welded pipes for gas pipeline.* In. 6th International Conference on Barkhausen Noise and Micromagnetic Testing, ICBM 6, 9-10 July 2007, Valenciennes, University of Valenciennes, France, ISBN 978-951-98400-9-3.

[13] MACURA, P., KUBALA, R., GANEV, N., KOLAŘÍK, K., OCHODEK, V. *Zbytková napětí při kontaktní únavě materiálu.* In. Experimental Stress Analysis 2007, ZÚ Plzeň, květen 2007, ISBN 978-80-7043-562-6

[14] Tichá, Š., *Strojírenská metrologie část 1.* 2008. 112s. ISBN 978-80-248-0671-6

[15] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie část 2, Základy řízení jakosti.* Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006. 88 s. ISBN 80-248-1209-6

8 Seznam příloh

Seznam obrázků

Obr. 1 Ukázka výrobku firmy Pramet Tools, s.r.o. nástroj pro čelní frézování před povrchovou úpravou	12
Obr. 2 Měření kazet pro německou železnici (vpředu) na souřadném měřicím stroji Zeiss Prismo Vario	13
Obr. 3 Hotová kazeta s VBD	13
Obr. 4 Nové destičky přinášejí dobrou jakost obrobeného povrchu.....	14
Obr. 5 Hladící VBD CoroMill® 245 firmy Sandvik Coromant [4]	15
Obr. 6 Parametry různých typů hladících VBD firmy Sandvik Coromant [4]	16
Obr. 7 Graf závislosti drsnosti na posuvu na zub f_z [4]	16
Obr. 8 Různé typy břitů pro rovinné frézování [5]	17
Obr. 9 Rozdělení obráběných materiálů dle ISO 513 [6]	18
Obr. 10 Závislost velikosti fazetky na rychlosti posuvu na zub f_z ovlivňuje tvar odebírané třísky [1].....	19
Obr. 11, Obr. 12 Na grafech je vidět závislost radiální hloubky řezu na střední hodnotě tloušťce třísky [7].....	21
Obr. 13 Destička XNGX 0906ANSN [6]	22
Obr. 14 Destička XNGX 0906ANSN v řezu [6]	22
Obr. 15 Destička XNGX 0906ANSN s utvařečem třísky P05 [6].....	23
Obr. 16 Destička XNGX 0906ANSN s utvařečem třísky P02 [6].....	23
Obr. 17 Destička XNGX 0906ANSN s utvařečem třísky P01 [6].....	23
Obr. 18 Kompletní lisovací nástroj [6]	24
Obr. 19 Schématický průřez výrobou VBD [6]	27
Obr. 20 3D pohled destička XNGX 0906ANSN [6]	29
Obr. 21 Rozsah řezných podmínek a graf závislosti posuvu na zub f_z na hloubce řezu a_p VBD XNGX 0906ANSN [7].....	29
Obr. 22 Čelní fréza Pramet Tools, s.r.o. typ 63A06R-S45HN09C-C.....	30
Obr. 23, Obr. 24 Čelní fréza Pramet Tools, s.r.o. typ 63A06R-S45HN09C-C s destičkami HNGX 0906ANSN	31
Obr. 25 Rozměry čelní frézy Pramet Tools, s.r.o. typ 63A06R-S45HN09C-C [7].....	32
Obr. 26 Řezná geometrie zvolené čelní frézy Pramet Tools, s.r.o. typ 63A06R-S45HN09C-C [7]	32
Obr. 27 Vertikální obráběcí centrum MAS MCV 1270 Power	33
Obr. 28, Obr. 29 Ustavovací zařízení BMD 465v	34

Obr. 30 Obráběný materiál upnutý ve svěráku	35
Obr. 31 Řez drsnoměrem [6]	36
Obr. 32 Zvětšený pohled na vyštípnutý diamantový hrot [6]	36
Obr. 33 Vybrané parametry drsnosti povrchu Ra, Rt a Rz [6]	37
Obr. 34 Přístroj pro vyhodnocení drsnosti povrchu Homel tester T500	37
Obr. 35 Přístroj pro vyhodnocení drsnosti povrchu Homel etamic W5	38
Obr. 36 Software pro vyhodnocení drsnosti Turbo Datawin-NT 1.48	38
Obr. 37 Měření drsnosti prováděné přístrojem Homel tester T500	39
Obr. 38 Zkušební vzorek frézovaný 4 testovacími VBD	40
Obr. 39 Barkhausenovo původní uspořádání [10]	41
Obr. 40 Vliv napětí na snímání signál Barkhausenova šumu-MBN [10]	42
Obr. 41 Vliv tvrdosti na snímání signál Barkhausenova šumu-MBN [10]	42
Obr. 42 Laboratorní pracoviště pro měření zbytkových napětí (Katedra mechanické technologie VŠB-TUO)	43
Obr. 43 Snímač SM1 první vlevo použitý pro měření Barkhausenova šumu	43
Obr. 44 Vzorek nachystaný pro měření zbytkových povrchových napětí metodou Barkhausenova šumu-MBN	44
Obr. 46, Obr. 47 a Obr. 48 Grafy závislostí Ra na posuvu na zub f_z vyhodnocené počítačem uprostřed radiální hloubky řezu a_e a přístrojem Homel etamic W5 uprostřed a na kraji radiální hloubky řezu a_e [6]	46
Obr. 49, Obr. 50 a Obr. 51 Grafy závislostí Rz na posuvu na zub f_z vyhodnocené počítačem uprostřed radiální hloubky řezu a_e a přístrojem Homel etamic W5 uprostřed a na kraji radiální hloubky řezu a_e [6]	48
Obr. 52, Obr. 53 a Obr. 54 Grafy závislostí Rt na posuvu na zub f_z vyhodnocené počítačem uprostřed radiální hloubky řezu a_e a přístrojem Homel etamic W5 uprostřed a na kraji radiální hloubky řezu a_e [6]	50
Obr. 55 Graf závislosti měřené oblasti na povrchovém napětí XNGX 0906ANSN měřeném podél směru vzorku	52
Obr. 56 Graf závislosti měřené oblasti na povrchovém napětí XNGX 0906ANSN-P01 měřeném podél směru vzorku	53
Obr. 57 Graf závislosti měřené oblasti na povrchovém napětí XNGX 0906ANSN-P02 měřeném podél směru vzorku	54
Obr. 58 Graf závislosti měřené oblasti na povrchovém napětí HNGX 0906ANSN-R měřeném podél směru vzorku	55

Obr. 59 Graf závislosti hodnot aritmetických průměrů povrchových napětí v podélném směru.....	56
Obr. 60 Graf závislosti hodnot aritmetických průměrů povrchových napětí v kolmém směru.....	56